

PCT

世界知的所有権機関  
国際事務局

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

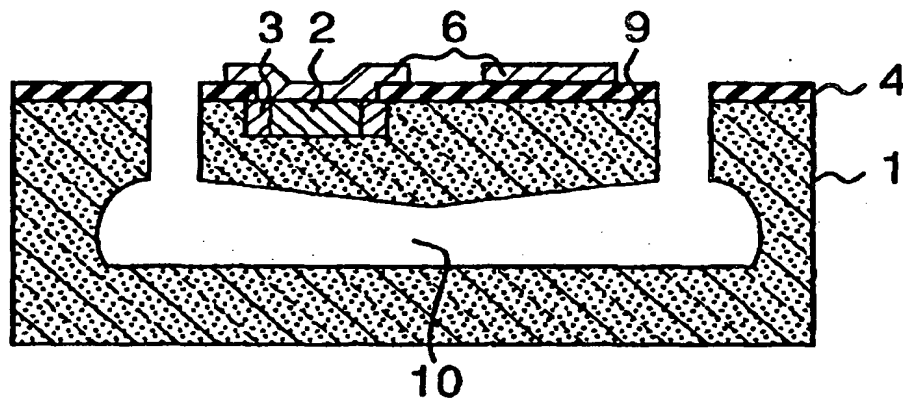


839

<p>(51) 国際特許分類6 H01L 29/84, G01L 9/04, G01P 15/12, 15/125</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/42666</p> <p>(43) 国際公開日 2000年7月20日(20.07.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/00078</p> <p>(22) 国際出願日 1999年1月13日(13.01.99)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 大路 浩(OHJI, Hiroshi)[JP/JP] 堤 和彦(TSUTSUMI, Kazuhiko)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo, (JP) フレンチ、パトリック・ジェイ (FRENCH, Patrick J.)(IE/NL) 2625 カーエス、デルフト、クートラーン40番 Delft, (NL)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 青山 葆, 外(AOYAMA, Tamotsu et al.) 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: INERTIA FORCE SENSOR AND METHOD FOR PRODUCING INERTIA FORCE SENSOR

(54)発明の名称 慣性力センサ及び慣性力センサの製造方法



## (57) Abstract

An inertia force sensor comprising a mass body (11) displaced when a force is applied to the mass body (11), at least one holding beam (12) holding the mass body (11), and a fixing section (13) fixing one end of the holding beam (12) so as to sensing the inertia force acting on the mass body (11) based on the displacement of the mass body (11), characterized in that the mass body (11) has a hollow structure made by removing the inside of a silicon substrate (1) by one process of etching, and the fixing section (13) is at least a part of the main body of the silicon substrate (1). Since the inertia force sensor is made of single crystal silicon, the mechanical characteristics and reliability are greatly improved.

(57)要約

力が加えられたときに変位する質量体（１１）と、該質量体（１１）を保持する少なくとも１本の保持梁（１２）と、該保持梁（１２）の一端を固定する固定部（１３）とを備えていて、上記質量体（１１）の変位に基づいて該質量体（１１）に作用する慣性力を検出するようになっている慣性力センサであって、質量体（１１）が、シリコン基板（１）の内部が１工程内のエッチングにより除去されてなる中空構造体（９）であり、固定部（１３）が、シリコン基板本体部の少なくとも一部であることを特徴とする。該慣性力センサは単結晶シリコンで形成されているので、その機械的特性及び信頼性が大幅に高められている。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LV	ラトヴィア	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	MA	モロッコ	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MC	モナコ	TD	チャード
BG	ブルガリア	GH	ガーナ	MD	モルドヴァ	TC	トーゴ
BJ	ベナン	GM	ガンビア	MG	マダガスカル	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	GN	ギニア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM	トルクメニスタン
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ		共和国	TR	トルコ
CA	カナダ	GW	ギニア・ビサオ	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
CF	中央アフリカ	HR	クロアチア	MN	モンゴル	TZ	タンザニア
CG	コンゴ	HU	ハンガリー	MR	モーリタニア	UA	ウクライナ
CH	スイス	ID	インドネシア	MW	マラウイ	UG	ウガンダ
CI	コートジボアール	IE	アイルランド	MX	メキシコ	US	米国
CM	カメルーン	IL	イスラエル	MZ	モザンビーク	UZ	ウズベキスタン
CN	中国	IN	インド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CR	コスタ・リカ	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラヴィア
CU	キューバ	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	JP	日本	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ	KE	ケニア	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KG	キルギスタン	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
		KR	韓国				

## 明 細 書

## 慣性力センサ及び慣性力センサの製造方法

## 5 技術分野

本発明は、加速度や角速度等によって惹起される慣性力を計測するための慣性力センサ及びその製造方法に関するものである。より詳しくは、慣性力を受ける可動質量体と該可動質量体を保持する少なくとも1本の梁とを備えていて、可動質量体に生じる慣性力の変化によって惹起される梁の撓みを検出し、この撓み量に基づいて慣性力を測定するようにした慣性力センサ及びその製造方法に関するものである。

## 背景技術

可動質量体と、一端が該可動質量体に取りつけられ他端が固定部に取りつけられた梁とを備えていて、可動質量体に加わる慣性力によって梁に惹起される撓み（歪み）を検出し、該撓み量に基づいて慣性力を検出するようにした慣性力センサはよく知られている。なお、固定部は該慣性力センサが搭載される何らかの物体（例えば、自動車等）に固定される。かかる慣性力センサにおいては、一般に、梁の表面にピエゾ抵抗が設けられ、梁に惹起された撓みに起因してピエゾ抵抗に歪みが生じ該歪みによってピエゾ抵抗の抵抗値が変化する現象を利用して、該抵抗値に基づいて梁の撓み量ひいては可動質量体に生じた慣性力を検出するようにしている。そして、かかる慣性力センサによって検出される慣性力は、該慣性力センサが搭載されている物体に生じた加速度、角速度等に比例することから、慣性力センサは、加速度センサ、角速度センサ等として、従来より自動車の車体制御装置あるいは安全装置等に広く利用されている。

そして、かかる慣性力センサの基部をなす、可動質量体と梁と固定部とを含む構造体は、一般にシリコン基板に加工を施してなるシリコンデバイスで構成されている。以下、かかる慣性力センサの基部として用いられている従来のシリコンデバイスないしはその製造方法を説明する。

図 1 7 A～図 1 7 F は、可動部（可動質量体）を有するデバイスをシリコン基板上に作製する場合の従来の製造工程図である。この製造工程においては、まず図 1 7 A に示すように、平板状のシリコン基板 7 0 を準備する。次に、図 1 7 B に示すように、シリコン基板 7 0 の上に、犠牲層となる第 1 酸化膜 7 1 を CVD 等により形成し、続いてその上にシードレイヤーとなる第 1 ポリシリコン膜 7 2 を低圧 CVD 等により成膜する。この後、図 1 7 C に示すように、第 1 ポリシリコン膜 7 2 の上に、構造体となる第 2 ポリシリコン膜 7 3 をエピタキシャル反応炉を用いて形成する。そして、所望の厚みの第 2 ポリシリコン 7 3 膜が得られた後、図 1 7 D に示すように、第 2 ポリシリコン膜 7 3 の上に、CVD 等により第 2 酸化膜 7 4 を最表層として形成し、この後所望の構造体の形状が得られるように第 2 酸化膜 7 4 に対してパターニングを施す。このパターニングが施された第 2 酸化膜 7 4 は、その下の構造体となる第 1 及び第 2 の両ポリシリコン膜 7 2、7 3 をエッチングするためのマスクとなる。次に、図 1 7 E に示すように、第 1 ポリシリコン膜 7 2 及び第 2 ポリシリコン膜 7 3 に対して、反応性イオンエッチング等により第 1 酸化膜 7 1 に到達するまでエッチングを施す。さらに、図 1 7 F に示すように、フッ酸等を用いて第 1 ポリシリコン膜 7 2 の下側に位置する第 1 酸化膜 7 1 の一部を除去する。これにより、実質的に第 1 ポリシリコン膜 7 2 及び第 2 ポリシリコン膜 7 3 によって形成された可動部が得られる。

図 1 8 A～図 1 8 F は、例えば、1 9 9 7 年 9 月に米国テキサス州オースチンで発行された「マイクロ加工及びマイクロの製造プロセス技術Ⅲの S P I E 誌」の第 3 2 2 3 巻の 1 8 9～1 9 7 頁（“Proceedings SPIE Micromachining and Microfabrication Process Technology III”, Volume 3223, Austin, Texas, USA, September (1997), page 189-197）に開示されている従来のシリコンデバイスの製造工程を示す図である。このシリコンデバイスの製造においては、まず図 1 8 A に示すように、平板状の n 型シリコン基板 7 5 を準備する。そして、図 1 8 B に示すように、シリコン基板 7 5 の表面に窒化シリコン膜 7 6 を形成する。続いて、図 1 8 C に示すように、写真製版により窒化シリコン膜 7 6 にパターニングを施してパターン 7 7 を形成する。次に、図 1 8 D に示すように、KOH を用いて、シリコン基板 7 5 に逆三角形形状のビット 7 8 を形成する。さらに、

KOHによるエッチングのマスクとして用いた窒化シリコン膜76を除去し、図18Eに示すようなピット78を備えたシリコン基板75を得る。この後、図18Fに示すように、シリコン基板75をフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板75にこれが陽極になるように電圧を印加し、さらにシリコン基板75に光を照射して基板深さ方向にエッチングを施し、シリコン基板75内に溝部80を形成する。

ところで、このような従来のシリコンデバイスを用いた慣性力センサにおいては、可動部である中空構造体が多結晶シリコンで構成されている関係上、単結晶シリコンで形成されているものに比べてその機械的特性及び信頼性が劣るといった問題があった。また、製造上の理由により、可動部とその下の基板との間の空間を十分には大きくすることができず、可動部と基板とが干渉し合うことがあるといった問題があった。さらに、製造工程が複雑であるといった問題があった。このため、信頼性の高い慣性力センサを安価に得ることができないという問題があった。

また、シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成した上で、シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬してシリコン基板が陽極になるように電圧を印加し、基板深さ方向にエッチングするといった手法により片持ち梁を作製する場合、固定部と片持ち梁との境界部に電流が集中し、エッチング開始パターンと同じ形状の構造体を作製することができないという問題があった。さらに、このようなエッチング方法では、大きな面積のものにはエッチングを施すことができないという問題があった。

#### 発明の開示

本発明は、上記従来の問題を解決するためになされたものであって、1工程で単結晶シリコンで形成された中空構造体を作製することができ、中空構造体と基板との間の距離を十分に大きくすることができる信頼性の高い安価な慣性力センサ及びその製造方法を提供することを目的とする。さらには、所期のエッチング開始パターンと同じ形状の構造体を備えた信頼性の高い慣性力センサ及びその製造方法を提供することをも目的とする。

上記の目的を達するためになされた本発明の1つの態様に係る慣性力センサは、力が加えられたときに変位する質量体と、該質量体を保持する少なくとも1本の保持梁と、該保持梁の一端を固定する固定部とを備えていて、質量体の変位に基づいて該質量体に作用する慣性力を検出するようになっている慣性力センサであって、質量体が、シリコン基板の内部がエッチングにより除去されてなる中空構造体であり、固定部が、シリコン基板本体部の少なくとも一部であることを特徴とするものである。

この慣性力センサにおいては、中空構造体である質量体と、これを支える保持梁とを単結晶シリコンを用いて1工程で作製することができる。この場合、主たる加工法が湿式のエッチングであるので、装置が安価であり、かつ一度に複数のシリコン基板の加工を行うことができる。このため、慣性力センサの信頼性が高められ、かつ安価となる。

また、質量体及び保持梁の高さをエッチング時間で制御することができ、保持梁の剛性をマスクを変えることなく調節することができるので、感度の異なる慣性力センサを同一マスクを用いて作製することができる。さらに、中空構造体の下部の中空部を大きくすることができるので、構造体の基板への吸着現象が起こらない。このため、製造時の歩留まりが大幅に向上する。

上記慣性力センサにおいては、質量体に作用する慣性力を、質量体の変位によって惹起される保持梁の撓みに基づいて検出することができる。この場合、保持梁の撓みを検出するためのピエゾ抵抗体の抵抗値の変化を測定する測定回路が簡単であるので、安価に慣性力センサを得ることができる。また製造工程が簡素化されているため、歩留まりが高く、信頼性の高い慣性力センサを得ることができる。

上記慣性力センサにおいて、質量体に対してシリコン基板表面と平行な方向に作用する慣性力を検出する場合は、質量体によって支持された第1片持ち梁と、シリコン基板の固定部によって支持された第2片持ち梁との間の容量（例えば、静電容量、電気容量）に基づいて慣性力を検出するようにしてもよい。この場合、質量体の基板面内の変位を容量の変化として検出するので、感度の優れた慣性力センサを得ることができる。

また、上記慣性力センサにおいて、質量体に対してシリコン基板表面と垂直な方向に作用する慣性力を検出する場合は、質量体と、シリコン基板に接合されたもう 1 つの基板の表面に設けられた対向電極との間の容量に基づいて慣性力を検出するようにしてもよい。この場合、質量体の基板面内と垂直な変位を容量（例えば、静電容量、電気容量）の変化として検出するので、感度の優れた慣性力センサを得ることができる。

さらに、上記慣性力センサにおいては、固定部にエッチングホールが設けられているのが好ましい。このようにすれば、エッチング開始パターンと同じ形状の中空構造体とこれに続く固定部とを作製することができるので、信頼性の高い慣性力センサを得ることができる。

また、上記慣性力センサにおいては、保持梁の撓みを、保持梁の撓み方向にみて保持梁の少なくとも一端側に配置されたピエゾ抵抗体の抵抗値に基づいて検出するようにしてもよい。このようにすれば、保持梁の撓みを保持梁に形成したピエゾ抵抗体により検出するので、読み出し回路が簡素化され、安価なセンサを得ることができる。さらに、ピエゾ抵抗体を保持梁の両端側に配置することにより、作動型の慣性力センサとして慣性力を検出することができ、温度依存性を差し引くことにより、感度を大幅に向上させることができる。

本発明のもう 1 つの態様にかかる慣性力センサの製造方法は、力が加えられたときに変位する質量体と、該質量体を保持する少なくとも 1 本の梁と、該梁の一端を固定する固定部とを備えていて、質量体の変位に基づいて該質量体に作用する慣性力を検出するようになっている慣性力センサの製造方法であって、（i）シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、（ii）シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチング施し、エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びるエッチング部を形成する第 1 エッチング工程と、（iii）エッチング部が所定の深さに到達した後、シリコン基板内に流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位で隣り合うエッチング部同士を連通させ、シリコン基板の一部からなる

中空構造体を形成する第2エッチング工程とを含んでいて、(iv) 中空構造体を質量体とし、シリコン基板本体部の少なくとも一部を固定部とするようにしたことを特徴とするものである。

5 この慣性力センサの製造方法においては、単結晶シリコンで構成された中空構造体である慣性力を受ける質量体と、これを支える保持梁とを1工程で作製することができ、また主たる加工法が湿式のエッチングであるため装置が安価である。また、一度に複数のシリコン基板の加工を行うことができるので、信頼性の高い慣性力センサを安価に得ることができる。また、質量体及び保持梁の高さをエッチング時間で制御することができるので、保持梁の剛性を、マスクを変えることなく調節することができる。したがって、感度の異なる慣性力センサを同一マスクを用いて作製することができる。また、中空構造体の下部の中空部を大きくすることができるので、構造体の基板への吸着現象が起こらない。このため、製造の歩留まりが大幅に向上する。

15 上記慣性力センサの製造方法においては、エッチング開始パターン形成工程で、シリコン基板の固定部が形成されるべき部位にエッチングホールを形成するのが好ましい。このようにすれば、エッチング開始パターンと同じ形状の中空構造体とこれに続く固定部とを作製することができるので、信頼性の高い慣性力センサを得ることができる。

20 また、上記慣性力センサの製造方法においては、エッチング開始パターン形成工程で、シリコン基板材料をブロック状に除去すべき部分を囲む連続したエッチング開始パターンを形成し、第2エッチング工程で、上記の除去すべき部分をエッチングによりシリコン基板本体部から除去するようにしてもよい。このようにすれば、任意の領域のシリコンを任意量除去することができるので、慣性力が印加されたとき、これに伴う質量体、及び保持梁の変位距離の大きくすることができ、慣性力センサの感度を高めることができ、かつ慣性力センサの設計における自由度が大きくなる。

#### 図面の簡単な説明

図1A～図1Jは、それぞれ、シリコン基板ないしは慣性力センサ中間体の立



面断面図であって、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程を示している。

図 2 は、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの斜視図である。

5 図 3 は、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるエッチング装置の立面断面図である。

図 4 A 及び図 4 B は、それぞれ、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるさらなるエッチング装置の立面断面図である。

10 図 5 は、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの片持ち梁と固定部との境界部を示す斜視図である。

図 6 A ～ 図 6 J は、それぞれ、シリコン基板ないしは慣性力センサ中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態 3 に係る慣性力センサの製造工程を示している。

15 図 7 は、本発明の実施の形態 3 に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるエッチング装置の立面断面図である。

図 8 は、本発明の実施の形態 3 に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるもう 1 つのエッチング装置の立面断面図である。

20 図 9 は、本発明の実施の形態 4 に係る慣性力センサの片持ち梁と固定部との境界部を示す斜視図である。

図 10 は、本発明の実施の形態 5 に係る慣性力センサの片持ち梁と固定部の境界部を示す斜視図である。

図 11 は、本発明の実施の形態 6 に係る慣性力センサの片持ち梁と固定部の境界部を示す斜視図である。

25 図 12 は、本発明の実施の形態 7 に係る慣性力センサの製造工程におけるエッチング開始パターンを示す平面図である。

図 13 A ～ 図 13 G は、それぞれ、シリコン基板ないしは慣性力センサ中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態 8 に係る慣性力センサの製造工程を示している。

図 1 4 は、本発明の実施の形態 8 に係る慣性力センサの斜視図である。

図 1 5 A ～ 図 1 5 F は、それぞれ、シリコン基板ないしは慣性力センサ中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態 9 に係る慣性力センサの製造工程を示している。

5 図 1 6 A ～ 図 1 6 D は、それぞれ、シリコン基板ないしは慣性力センサ中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態 9 に係る慣性力センサの製造工程を示している。

10 図 1 7 A ～ 図 1 7 F は、それぞれ、シリコン基板ないしは製造途上にあるシリコンデバイスの立面断面図であって、従来から用いられている中空構造のシリコンデバイスの製造工程を示している。

図 1 8 A ～ 図 1 8 F は、それぞれ、シリコン基板ないしは製造途上にあるシリコンデバイスの立面断面図であって、シリコン基板上に溝を形成する際の従来の溝部形成工程を示している。

#### 15 発明を実施するための最良の形態

以下、添付の図面を参照しつつ、本発明の実施の形態を具体的に説明する。なお、添付の各図面において、共通する部材ないしは構成要素には同一番号が付されている。また、この明細書中において「慣性力センサ中間体」とは、慣性力センサの製造工程において原材料であるシリコン基板に加工が行われたものであつて、まだ慣性力センサとして完成されていない状態のものを意味する。

##### 実施の形態 1

図 1 A ～ 図 1 J は、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 1 に係る慣性力センサないしはその製造方法を説明する。

25 この慣性力センサの製造工程においては、まず図 1 A に示すように、厚さ約  $400\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 B に示すように、シリコン基板 1 の表面近傍部にピエゾ抵抗体 2 を形成する。このピエゾ抵抗体 2 は、シリコン基板 1 のピエゾ抵抗体 2 となるべき領域に、ボロンを加速電圧  $150\text{KeV}$ 、ドーズ量  $8 \times 10^{13}/\text{cm}^2$  で打ち込むことにより形成する。続いて、

図1Cに示すように、ピエゾ抵抗体2と電気配線との電氣的導通を取るための高濃度ボロン領域3を形成する。この高濃度ボロン領域3は、先に形成したピエゾ抵抗体2の両端に、ボロンのイオンを加速電圧150KeV、ドーズ量 $4.8 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ で打ち込むことにより形成する。さらに、アニールを980°Cで2時間施す。

次に、図1Dに示すように、シリコン基板1とピエゾ抵抗体2と高濃度ボロン領域3の上に、例えば厚さ約0.1 $\mu\text{m}$ の窒化シリコン膜4をCVD法等により形成する。続いて、図1Eに示すように、先に形成したピエゾ抵抗体2及び高濃度ボロン領域3を覆っている窒化シリコン膜4をプラズマエッチング法により除去し、電氣的導通を得るためのコンタクトホール5を形成する。さらに、慣性力センサ中間体（シリコン基板1）にクロムと金とを続けて蒸着した後、これを湿式エッチング液に浸漬し、先に窒化シリコン膜4を除去して形成したコンタクトホール5の周囲をなだらかにして、高濃度ボロン領域3とクロム-金との電氣的導通性を高める。

そして、図1Fに示すように、再びクロム-金を慣性力中間体（シリコン基板1）の全面に蒸着した上で、写真製版により配線パターン6を形成する。この後、図1Gに示すように、先に形成した窒化シリコン膜4に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク7を作製する。次に、図1Hに示すように、リアクティブイオンエッチングにより初期エッチングを施し、深さ約3 $\mu\text{m}$ のエッチング開始パターン8を形成する。さらに、シリコン基板1（慣性力センサ中間体）を5%のフッ酸水溶液に浸漬し、シリコン基板1が陽極となるようにして、該シリコン基板1と対向電極との間に約3Vの電圧を印加する。このとき、シリコン基板1の背面に発光強度を任意に変えることができる150wのハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板1の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板1の電流密度が32mA/cm<sup>2</sup>となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。なお、一般に知られているとおり、この光の強度とシリコン基板1内の電流密度との間には、前者の増減に伴って後者が一義的に増減するといった関数関係が存在する。かくして、図1Iに示すように、エッチング開始パターン8の下側に形成された

エッチング部 8'（開口部、溝部）がシリコン基板 1 の深さ方向に延びる。そして、エッチング部 8' が所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることにより、シリコン基板 1 内の電流密度を  $60 \text{ mA/cm}^2$  に高め、隣り合うエッチング面（エッチング部の側壁）が前工程で形成した構造体の下部で  
5 つながる（隣り合うエッチング部同士が連通する）ように、約 1-0 分間エッチングを施す。これにより、図 1 J に示すように、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 9（可動質量体）が作製されるとともに、この中空構造体 9 の下に中空部 10 が形成される。

図 2 は、図 1 A～図 1 J に示す製造工程により製造された慣性力センサの斜視  
10 図である。図 2 に示すように、この慣性力センサは、中空構造質量体 11（可動質量体）と、質量体 11 を保持する片持ち梁 12 と、片持ち梁 12 を基板に固定する固定部 13 とを備えている。そして、この慣性力センサにおいて、質量体  
11 に慣性力が働くと、これを保持している片持ち梁 12 が撓み、その上に形成されているピエゾ抵抗体（図示せず）の抵抗値が変化する。このため、ピエゾ抵  
15 抗体の抵抗値から、片持ち梁 12 の撓み量、ひいては質量体 11 に加わった慣性力を測定することができる。

この実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程において、中空部 10 の深さは、前記の  $60 \text{ mA/cm}^2$  で行ったエッチングの実行時間を調節することにより任意の値とすることができる。ここでエッチャントとして用いたフッ酸水溶液  
20 の濃度は、1%以上かつ 20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸水溶液の濃度が 1%未満ではエレクトロポリッシングが起こり、また 20%を超えると滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印加電圧は 10V 以下に設定するのが望ましい。10V  
を超える電圧を印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチ  
25 グ面を得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、ここでいう印加電圧は、定電圧源から出力される電圧ではなく、実際にシリコン基板 1 に印加されている電圧を意味する。さらに、n 型シリコン基板 1 のシート抵抗は  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$  以上かつ  $50 \Omega \cdot \text{cm}$  以下の範囲内に設定するのが好ましい。n 型シリコン基板 1 のシート抵抗が  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$

より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、 $50\ \Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。また、初期エッチングの深さは、それに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。但し、初期エッチングを行わない場合は、初期エッチングを行った場合と比較して、作製される構造体の寸法精度が劣るので、構造体の精度が必要な場合は、初期エッチングを施すのが好ましい。さらに、シリコン基板1の初期の厚みは初期エッチング、またそれに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。なお、前記の製造工程では、中空構造体9を形成する際、ハロゲンランプの光の強度を変えることによりシリコン基板の電流密度を高めるようにしているが、印加電圧を変えることにより電流密度を高めるようにしても同様の効果が得られる。

この実施の形態1に係る製造方法により製造された慣性力センサ（シリコンデバイス）においては、中空構造体9が単結晶シリコンで形成されているので、該慣性力センサは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体9の下の中空部10を大きく形成することができるので、中空構造体9がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、この慣性力センサの製造方法では、中空構造体である可動部の形状を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価に慣性力センサを得ることができる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板1の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板1の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン8を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体9も任意の形状を持たせることができるので、性能が優れた慣性力センサ構造が得られる。

図3は、本発明の実施の形態1に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板内に中空構造を形成する際に用いられるエッチング装置を示している。図3に示すように、このエッチング装置には、エッチングを施すべきn型シリコン基板1を保持するとともに該シリコン基板1との電氣的導通を得るためのシリコン基板保持部14が設けられている。このシリコン基板保持部14は、例えば銅で形成される。さらに、このエッチング装置には、シリコン基板保持部14の

内側にエッチャント 17 が漏れないようにするための耐薬品性に優れたオーリング 15 と、シリコン基板 1 内に電子正孔対を生成させるための光源 16 と、電流計 18 と、定圧電源 19 と、例えば白金等の貴金属からなる対向電極 20 とが設けられている。また、このエッチング装置には、例えばテフロン等からなりエッチャント 17 を収容する容器 21 と、シリコン基板保持部 14 をエッチャント 17 から保護するための外枠 22 とが設けられている。なお、外枠 22 は、例えばテフロン等で形成される。

このエッチング装置においては、エッチャント 17 に表面活性剤等を添加すれば、エッチング中に発生する水素がシリコン基板 1 の表面から離脱しやすくなり、シリコン基板 1 内でのエッチングの均一性が向上する。また、シリコン基板 1 の裏側にイオンを打ち込み、さらにアルミ等を例えばスパッタ装置を用いて成膜して、シリコン基板保持部 14 とシリコン基板 1 との接触抵抗を低下させれば、エッチングが安定しシリコン基板 1 内でのエッチングが均一化され、信頼性の高い慣性力センサが得られる。さらに、シリコン基板保持部 14 とシリコン基板 1 との間に銀粒子を含んだ接着剤を用いれば、接触抵抗をさらに低下させることができ、上記効果を高めることができる。

図 4 A は、本発明の実施の形態 1 に係る慣性力センサの製造工程において、シリコン基板内に中空構造を形成する際に用いられるもう 1 つのエッチング装置を示している。図 3 に示すエッチング装置では、シリコン基板 1 のエッチングが施されるべき広がり面が下方に向けられその下側のエッチャント 17 によってエッチングが施される一方、シリコン基板 1 の上方に光源 16 が配置された構造となっている。これに対して、図 4 A に示すエッチング装置では、シリコン基板 1 のエッチングが施されるべき広がり面が上方に向けられその上側のエッチャント 17 によってエッチングが施される一方、シリコン基板 1 の下方に光源 16 が配置された構造となっている。図 4 A に示すエッチング装置においては、エッチング中に、シリコン基板 1 のエッチングが施されている広がり面付近で発生する気泡は、その浮力によって上方すなわちシリコン基板表面から離脱する方向への移動が助勢される。このため、気泡がシリコン基板 1 から非常に離脱しやすくなり、これによりシリコン基板 1 内でのエッチングの均一性が一層向上する。

また、図4Bに示すように、図4Aに示すエッチング装置の構造において、さらにシリコン基板1と光源16との間にレンズ65を配置してもよい。このようにすれば、シリコン基板1内の光強度を均一化することができるので、シリコン基板面内に形成される構造体も均一化され、信頼性の高い慣性力センサを得ることができる。

図5は、片持ち梁12と、これをシリコン基板1（本体部）に固定する固定部13との境界部を示す図である。図5に示すように、質量体を支える梁12と該梁12をシリコン基板1に固定する固定部13との境界部において、固定部13にエッチングホール23を設けると、余分な正孔が前記エッチングホール23で消費されるので、固定部13と梁12との境界部において過剰なエッチングが起

#### 実施の形態2

以下、実施の形態2に係るシリコンデバイスの製造方法を説明するが、この実施の形態2に係る慣性力センサの製造方法は、図1A～図1Jに示す実施の形態1に係る慣性力センサの製造方法と多くの共通点をもつ。そして、図1A～図1Jは実施の形態2についても当てはまる。そこで、以下では、図1A～図1Jを参照しつつ説明する。

実施の形態2に係る慣性力センサの製造方法においては、図1A～図1Hに示すように、実施の形態1に係る慣性力センサの製造方法の場合と同様の手法で、 $n$ 型シリコン基板1に、圧電抵抗体2と、高濃度ボロン領域3と、窒化シリコン膜4と、コンタクトホール5と、配線パターン6と、マスク7と、エッチング開始パターン8とが作製ないしは形成される。

次に、シリコン基板1（慣性力センサ中間体）を5%のアンモニアフルオライド水溶液に浸漬し、シリコン基板1が陽極となるようにして、該シリコン基板1と対向電極との間に約3Vの電圧を印加する。このとき、シリコン基板1の背面に発光強度を任意に変えることができる150wのハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板1の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板1の電流密度が $32\text{mA}/\text{cm}^2$ となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。かくして、図1Iに示すように、エッチング開始パターン8の下側に形成

されたエッチング部 8'（開口部、溝部）がシリコン基板 1 の深さ方向に延びる。この後、エッチングにより形成されたエッチング部 8' が所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることにより、シリコン基板 1 内の電流密度を  $60 \text{ mA/cm}^2$  に高め、隣り合うエッチング面（エッチング部の側壁）が前工程で形成した構造体の下部でつながる（隣り合うエッチング部同士が連通する）ように、約 10 分間エッチングを施す。これにより、図 1 J に示すように、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 9 が作製されるとともに、この中空構造体 9 の下に中空部 10 が形成される。

この製造工程において、中空部 10 の深さは、前記の  $60 \text{ mA/cm}^2$  で行ったエッチングの実施時間を調節することにより任意の深さとすることができる。ここで、エッチャントとして用いたアンモニアフルオライド水溶液の濃度は、1%以上かつ 20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。アンモニアフルオライド水溶液の濃度が 1%未満ではエレクトロポリッシングが起こり、また 20%を超えると滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印加電圧は 10 V 以下に設定するのが望ましい。10 V を超える電圧を印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面を得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、定電圧源から出力される電圧ではなく、実際にシリコン基板 1 に印加されている電圧を意味する。さらに、n 型シリコン基板 1 のシート抵抗は、 $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$  以上かつ  $50 \Omega \cdot \text{cm}$  以下の範囲内に設定するのが好ましい。n 型シリコン基板のシート抵抗が  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$  より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また  $50 \Omega \cdot \text{cm}$  を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。また、初期エッチングの手法及び深さは、それに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。但し、初期エッチングを行わない場合は、初期エッチングを行った場合と比較して、作製される構造体の寸法精度が劣るので、構造体の寸法精度が必要な場合は、初期エッチングを施すのが好ましい。さらに、シリコン基板の初期の厚みは初期エッチング、またそれに引き続き行われる主たるエッチングに影



響を与えない。なお、中空構造を作製するためにシリコン基板 1 の電流密度を高める際に、印加電圧を高めることによって電流密度を変化させても同様の効果が得られる。また、主たるエッチングは、図 3、図 4 A 又は図 4 B に示すエッチング装置を用いて行うことができる。

- 5       この実施の形態 2 に係る製造方法により製造された慣性力センサ（シリコンデバイス）においては、中空構造体 9 が単結晶シリコンで形成されているので、該慣性力センサは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体 9 の下の中空部 10 を大きくすることができるので、中空構造体 9 がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、中空構造体である可動部の形状を 1 工程内で作製することができるので、製造工程が簡素化され、安価に慣性力センサを製造することができる。また、初期エッチングに用いたイオンビームエッチングはシリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体 9 も任意の形状を持たせることができ、性能が優れた慣性力センサ構造を得ることができる。
- 10
- 15

- また、この製造工程では、エッチャントとしてアンモニアフルオライドの水溶液を用いているので、主たるエッチングを行う際に、シリコンをドーブしたアルミ配線に損傷がほとんど生じない。これにより、従来からの CMOS 半導体工程と調和させることができ、主たるエッチングを行う前に、慣性センサと同一の基板上に、ピエゾ抵抗の変化を読み取るための回路を容易に設けることができる。
- 20

- なお、この実施の形態 2 においても、実施の形態 1 の場合と同様に、質量体 11 を支える梁 12 と該梁 12 をシリコン基板に固定する境界部において、固定部 13 にエッチングホール 23 を設ければ、余分な正孔がエッチングホール 23 で消費されるので、固定部 13 と梁 12 との境界部において過剰にエッチングが起こらず、信頼性の高い固定端を得ることができる（図 5 参照）。
- 25

### 実施の形態 3

図 6 A ～ 図 6 J は、本発明の実施の形態 3 に係る慣性力センサの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 3 に係る慣性力センサな

いしはその製造方法を説明する。

この慣性力センサの製造工程においては、まず図 6 A に示すように、厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の p 型シリコン基板 24 を準備する。そして、図 6 B に示すように、シリコン基板 24 の表面近傍部にピエゾ抵抗体 25 を形成する。このピエゾ抵抗体 25 は、シリコン基板 24 のピエゾ抵抗体 25 となるべき領域に、例えば n 型材料である砒素を加速電圧  $150\text{ KeV}$ 、ドーズ量  $8 \times 10^{13}/\text{cm}^2$  で打ち込むことにより形成する。続いて、図 6 C に示すように、ピエゾ抵抗体 25 と電気配線との電氣的導通を取るための高濃度砒素領域 26 を形成する。この高濃度砒素領域 26 は、先に形成したピエゾ抵抗体 25 の両端に、砒素のイオンを加速電圧  $150\text{ KeV}$ 、ドーズ量  $4.8 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  で打ち込むことにより形成する。さらに、アニールを  $980^\circ\text{C}$  で 2 時間施す。

次に、図 6 D に示すように、シリコン基板 24 とピエゾ抵抗体 25 と高濃度砒素領域 26 の上に、例えば厚さ約  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 27 を CVD 法等により形成する。続いて、図 6 E に示すように、先に形成したピエゾ抵抗体 25 及び高濃度砒素領域 26 を覆っている窒化シリコン膜 27 をプラズマエッチング法で除去し、電氣的導通を得るためのコンタクトホール 28 を形成する。さらに、慣性力センサ中間体（シリコン基板 24）にクロムと金とを続けて蒸着した後、これを湿式エッチング液に浸漬し、先に窒化シリコン膜 27 を除去して形成したコンタクトホール 28 の周囲をなだらかにして、高濃度砒素領域 26 とクロムー金との電氣的導通を高める。

そして、図 6 F に示すように、再びクロムー金を慣性力中間体（シリコン基板 24）の全面に蒸着した上で、写真製版により配線パターン 29 を形成する。この後、図 6 G に示すように、先に形成した窒化シリコン膜 27 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 30 を作製する。次に、図 6 H に示すように、リアクティブイオンエッチングにより初期エッチングを施し、深さ約  $3\text{ }\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 31 を形成する。さらに、シリコン基板 24（慣性力センサ中間体）を、5% のフッ酸と 5% の水とを含み残部がジメチルホルムアミドである有機溶媒に浸漬し、シリコン基板 24 が陽極となるようにして、該シリコン基板 24 と対向電極

との間に約3 Vの電圧を印加して、シリコン基板24の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板24の電流密度が $26\text{ mA/cm}^2$ となるように電源の電圧を調節する。

5       かくして、図6 Iに示すように、エッチング開始パターン31の下側に形成されたエッチング部31'（開口部、溝部）がシリコン基板24の深さ方向に延びる。この後、エッチングにより形成されたエッチング部31'が所望の深さに到達した後、電源の印加電圧を高めることにより、シリコン基板24内の電流密度を $40\text{ mA/cm}^2$ に高め、隣り合うエッチング面（エッチング部の側壁）が前工程で形成した構造体の下部でつながる（隣り合うエッチング部同士が連通す  
10       る）ように、約10分間エッチングを施す。これにより、図6 Jに示すように、シリコン基板24の一部からなる単結晶中空構造体32が作製されるとともに、この中空構造体32の下に中空部33が形成される。ここで、中空部33の深さは、前記の $40\text{ mA/cm}^2$ で行ったエッチングの実施時間を調節することにより任意の値とすることができる。

15       なお、この実施の形態3においても、実施の形態1の場合と同様に、質量体11を支える梁12と該梁12をシリコン基板に固定する境界部において、固定部13にエッチングホール23を設ければ、余分な正孔がエッチングホール23で消費されるので、固定部13と梁12との境界部において過剰にエッチングが起こらず、信頼性の高い固定端を得ることができる（図5参照）。

20       また、ここでエッチャントとして用いたフッ酸を含む有機溶媒の代わりに5%のアンモニアフルオライドを用いれば、配線に用いたクロム、金に代えて少量のシリコンをドーブしたアルミニウムを用いることができ、従来からのCMOS半導体工程と調和させることができる。このため、主たるエッチングを行う前に、慣性センサと同一基板上に、ピエゾ抵抗の変化を読み取るための回路を容易に設  
25       けることができる。

この製造工程において、エッチャントとして用いたフッ酸の濃度は、1%以上かつ20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸の濃度が1%未満ではエレクトロポリッシングが起こり、また20%を超えると滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印

加電圧は10V以下に設定するのが望ましい。10Vを超える電圧を印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、電源から出力された電圧ではなく、実際にシリコン基板24に印加されている電圧を意味する。さらに、p型シリコン基板24のシート抵抗は0.01Ω・cm以上かつ500Ω・cm以下の範囲内に設定するのが好ましい。p型シリコン基板24のシート抵抗が0.01Ω・cmより低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また500Ω・cmを超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製するのが困難となるからである。

この実施の形態3に係る製造方法により製造された慣性力センサ（シリコンデバイス）においては、中空構造体32が単結晶シリコンで形成されているので、該シリコンデバイスないしは慣性力センサは機械的特性が優れて信頼性の高いものとなる。また、中空構造体32の下の中空部33を大きくすることができるので、中空構造体32がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、中空構造体32の形状を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価に慣性力センサを製造することができる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板24の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板24の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン31を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体32も任意の形状を持たせることができ、性能が優れた慣性力センサ構造を得ることができる。

図7は、本発明の実施の形態3に係る慣性力センサの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるエッチング装置を示しているが、このエッチング装置は、図3に示す実施の形態1に係るエッチング装置と多くの共通点を有する。したがって、以下では説明の重複を避けるため、図3に示すエッチング装置と異なる点についてのみ説明する。すなわち、図7に示すように、実施の形態3に係るエッチング装置では、実施の形態1のような光源16（図3参照）は設けられていない。そして、エッチャント34の組成が実施の形態1の場合とは異

なる。また、シリコン基板 24 が p 型である点が実施の形態 1 の場合とは異なる。さらに、電源 19 が、シリコン基板 24 内の電流密度を調節するために変化させられる点が実施の形態 1 の場合とは異なる。図 7 に示すエッチング装置のその他の構成ないしは機能については、図 3 に示す実施の形態 1 に係るエッチング装置の場合と同様である。

このエッチング装置においては、エッチャント 34 に表面活性剤等を添加すると、エッチング中に発生する水素がシリコン基板表面から離脱しやすくなり、またエッチング面とエッチャントとの濡れ性が向上するので、シリコン基板 24 内でのエッチングの均一性が向上する。なお、ジメチルホルムアミドの代わりにアセトニトリルを用いても同様の効果が得られる。さらに、フッ酸の代わりにアンモニアフルオライドを用いても同様の効果が得られる。また、実施の形態 1 の場合と同様に、シリコン基板 24 の裏側にイオンを打ち込み、さらにアルミ等を例えばスパッタ装置を用いて成膜して、シリコン基板保持部 14 とシリコン基板 24 との接触抵抗を低下させれば、エッチングが安定しシリコン基板 24 内でのエッチングが均一化され、信頼性の高いシリコンデバイスが得られる。さらに、シリコン基板保持部 14 とシリコン基板 24 との間に銀粒子を含んだ接着剤を用いれば、接触抵抗をさらに低下させることができ、上記効果を高めることができる。

図 9 は、本発明の実施の形態 3 に係る慣性力センサの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるもう 1 つのエッチング装置を示している。図 7 に示すエッチング装置では、シリコン基板 24 のエッチングが施されるべき広がり面が下方に向けられその下側のエッチャント 34 によってエッチングが施される構造となっている。これに対して、図 8 に示すエッチング装置では、シリコン基板 24 のエッチングが施されるべき広がり面が上方に向けられその上側のエッチャント 34 によってエッチングが施される構造となっている。図 8 に示すエッチング装置においては、エッチング中に、シリコン基板 24 のエッチングが施されている広がり面付近で発生する気泡は、その浮力によって上方すなわちシリコン基板表面から離脱する方向への移動が助勢される。このため、気泡がシリコン基板 24 から非常に離脱しやすくなり、これによりシリコン基板 24 内での

エッチングの均一性が一層向上する。

このように、p型シリコン基板24を用いる場合は、主たるエッチングに必要な正孔がシリコン基板24内に多数存在するので、シリコン基板24の背面に光を照射して、電子-正孔対を生成する必要がある。このため、光源を必要とせず安価なエッチング装置を得ることができる。また、光の強度の不均一に起因する主たるエッチングの不均一性も排除できるので、信頼性の高いシリコンデバイス

5

ないしは慣性力センサを得ることができる。

#### 実施の形態4

図9は、本発明の実施の形態4に係る慣性力センサの梁35と固定部36との境界部を示す図である。図9に示すように、この慣性力センサにおいて、固定部36に一辺2 $\mu$ mのエッチングホール37が形成されている。このエッチングホール37は、図9から明かなとおり、梁35の固定端から固定部36の内部にいくに従って、その密度が徐々に減らされている。この場合、梁35の固定端での電流密度の変化がより小さくなり、固定端における過剰なエッチングを防止することができる。このように、実施の形態4に係る慣性力センサでは、固定端において過剰なエッチングが生じていないので、その信頼性が大幅に高められる。

10

15

#### 実施の形態5

図10は、本発明の実施の形態5に係る慣性力センサの梁と固定部（固定端）との境界部を示す図である。図10に示すように、この慣性力センサには、1本の片持ち梁38と、図1A～図1J（実施の形態1）に示す製造方法によりドー

20

プで形成された2つのピエゾ抵抗体39、40と、電氣的導通を得るための配線パターン41とが設けられている。

この慣性力センサにおいては、片持ち梁38の両側にピエゾ抵抗体39、40が形成されている。かくして、質量体（図示せず）に慣性力が生じると片持ち梁38が撓むが、このとき矢印42の方向に片持ち梁38が撓むと、ピエゾ抵抗体39には圧縮応力が働き、ピエゾ抵抗40には引っ張り応力が働く。ここで、ピエゾ抵抗39の検出値とピエゾ抵抗40の検出値の差を用いると、片持ち梁38の片側のみにピエゾ抵抗を配置した場合と比較して、出力値が2倍になる。さらに、温度変化及び外乱に起因する出力が低減される（なくなる）ので、慣性力

25

センサの感度が向上するとともに信頼性が向上する。

#### 実施の形態 6

図 1 1 は、本発明の実施の形態 6 に係る慣性力センサの梁と固定部（固定端）との境界部を示す図である。図 1 1 に示すように、この慣性力センサには、2 本の片持ち梁 4 3、4 4 と、図 1 A～図 1 J（実施の形態 1）に示す製造工程によりドープで形成された 2 つのピエゾ抵抗体 4 5、4 6 と、電気的導通を得るための配線パターン 4 1 とが設けられている。

この慣性力センサにおいては、2 本の片持ち梁 4 3、4 4 のそれぞれ片側にピエゾ抵抗体 4 5、4 6 が形成されている。かくして、質量体（図示せず）に慣性力が生じると片持ち梁 4 3、4 4 が撓むが、このとき矢印 4 7 の方向に片持ち梁 4 3、4 4 が撓むと、ピエゾ抵抗体 4 5 には圧縮応力が働き、ピエゾ抵抗 4 6 には引っ張り応力が働く。ここで、ピエゾ抵抗 4 5 の検出値とピエゾ抵抗 4 6 の検出値の差を用いれば、片持ち梁 4 3、4 4 の片方のみにピエゾ抵抗を配置したときと比較して、出力が 2 倍になる。さらに、温度変化及び外乱に起因する出力が低減される（なくなる）ので、慣性力センサの感度が向上するとともに信頼性が向上する。

#### 実施の形態 7

図 1 2 は、本発明の実施の形態 7 に係る慣性力センサの質量体（可動質量体）及びその周囲におけるエッチング開始パターンを示す図である。この慣性力センサにおいては、エッチング開始パターンは、図 1 A～図 1 J（実施の形態 1）に示す製造工程により形成されている。図 1 2 に示すように、除去すべき領域の回りに連続した四角形のパターン 4 8 を形成する一方、その内部には 1 辺が  $2 \mu\text{m}$  の正方形の開口をもつホール 4 9 を形成し、これらをエッチング開始パターンとしている。このようなエッチング開始パターンを用いて、図 1 A～図 1 J に示す製造方法を用いて主たるエッチングを行い中空構造を作製すれば、図 1 2 で示した四角形パターン 4 8 の領域を取り除くことができる。ここで用いた除去すべき領域のエッチングホールの一辺の長さは  $1 \mu\text{m}$  以上かつ  $8 \mu\text{m}$  以下の範囲内に設定するのが望ましい。エッチングホールの一辺の長さが  $1 \mu\text{m}$  未満の場合、又は  $8 \mu\text{m}$  を超える場合は、局所的な電流密度が均一とならないので、均一なエッ

チングホールを形成することができず、信頼性の低下を招くからである。

このエッチング手法によれば、エッチング開始パターンとしてリアクティブイオンエッチングを用いるので、シリコン基板の結晶方位の影響を受けない任意の形状のエッチング開始パターンを形成することができる。このため、任意の形状のものを任意量取り除くことができ、設計の自由度が大幅に広がる。

#### 実施の形態 8

図 1 3 A～図 1 3 Gは、本発明の実施の形態 8に係る慣性力センサの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 8に係る慣性力センサないしはその製造方法を説明する。

この慣性力センサの製造工程においては、まず図 1 3 Aに示すように、厚さ約  $400\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 3 Bに示すように、シリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約  $0.3\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 4 をスパッタ法等により形成した上で、該窒化シリコン膜 4 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 7 を作製する。続いて、図 1 3 Cに示すように、リアクティブイオンエッチングにより初期エッチングを施して、深さ約  $3\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 8 を形成する。

次に、シリコン基板 1 を 5 % のフッ酸水溶液に浸漬し、シリコン基板 1 が陽極となるようにして、シリコン基板 1 と対向電極との間に約 3 V の電圧を印加する。このとき、シリコン基板 1 の背面に発光強度を任意に変えることができる 150 w のハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板 1 の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板 1 の電流密度が  $26\text{mA}/\text{cm}^2$  となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。かくして、図 1 3 Dに示すように、エッチング部 8' が形成される。このエッチング部 8' が所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることによりシリコン基板 1 の電流密度を  $40\text{mA}/\text{cm}^2$  に高めて、隣接するエッチング面が前工程で作製した構造体の下部で接続するよう、約 10 分間エッチングを施す。これにより、図 1 3 Eに示すように、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 9 が作製されるとともに、この中空構造体 9 の下に中空部 10 が形成される。さらに、図 1 3 Fに示すよう



に、LPCVD等を用いて、電氣的絶縁膜として厚さ $1\mu\text{m}$ の窒化シリコン膜50を形成する。この後、図13Gに示すように、シリコンが少量ドーブされたアルミ電極ないしは配線材51を、例えばスパッタを用いて $0.3\mu\text{m}$ の厚さに成膜する。

- 5        ここにおいて、中空部10の深さは、前記の $40\text{mA}/\text{cm}^2$ で行ったエッチングの時間を調節することにより任意の値とすることができる。また、エッチャントとして用いたフッ酸水溶液の濃度は、1%以上かつ20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸水溶液の濃度が1%未満ではエレクトロポリッシングが起こり、また20%を超えると滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。さらに、印加電圧は10V以下に設定するのが望ましい。10Vを超える電圧を印加した場合、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、定電圧源から出力された電圧ではなく、シリコン基板1に印加されている電圧を意味する。
- 10        また、n型シリコン基板1のシート抵抗は $0.1\Omega\cdot\text{cm}$ 以上かつ $50\Omega\cdot\text{cm}$ 以下の範囲内に設定するのが好ましい。n型シリコン基板1のシート抵抗が $0.1\Omega\cdot\text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また $50\Omega\cdot\text{cm}$ より高い場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。
- 15        なお、初期エッチングの深さは、それに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。但し、初期エッチングを行わない場合は、初期エッチングを行った場合と比較して、作製される構造体の寸法精度が劣るので、構造体の精度が必要な場合は、初期エッチングを施すのが好ましい。さらに、シリコン基板1の初期の厚みは初期エッチング、またそれに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。なお、中空構造を作製するためにシリコン基板1の電流密度を高める際に、印加電圧を高めることによって電流密度を変化させても同様の効果が得られる。
- 20        25

図14は、実施の形態8に係る製造方法により製造された慣性力センサの斜視図である。図14に示すように、この慣性力センサには、中空構造質量体52

(可動質量体) と、質量体 5 2 を保持する片持ち梁 5 3 と、片持ち梁 5 3 を基板に固定する固定部 5 4 と、質量体 5 2 に連結された中空構造梁 5 5 と、基板に固定された対向電極 5 6 とが設けられている。この慣性力センサにおいて、質量体 5 2 に慣性力が生じると、それを保持している片持ち梁 5 3 が撓み、質量体 5 2 に連結されている中空構造梁 5 5 が変位する。これにより、この中空構造梁 5 5 と基板上に形成された対向電極 5 6 との間に形成された容量が変化し、これに基づいて質量体 5 2 に生じた慣性力を測定することができる。

この実施の形態 8 に係る製造方法により製造された慣性力センサにおいては、中空構造体 9 が単結晶シリコンで形成されているので、該慣性力センサは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体 9 の下の中空部 1 0 を大きくすることができるので、中空構造体 9 がその下の平板状基材へ吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、中空構造体である可動部の形状を 1 工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価に慣性力センサを製造することができる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れた慣性力センサ構造を得ることができる。

## 20 実施の形態 9

図 1 5 A ～図 1 5 F 及び図 1 6 A ～図 1 6 D は、本発明の実施の形態 9 に係る慣性力センサの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 9 に係る慣性力センサないしはその製造方法を説明する。

この慣性力センサの製造工程においては、まず図 1 5 A に示すように、厚さ約 4 0 0  $\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 5 B に示すように、シリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約 0. 3  $\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 4 をスパッタ法等により形成した上で、該窒化シリコン膜 4 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 7 を作製する。続いて、図 1 5 C に示すように、リアクティブイオンエッチングによ

り初期エッチングを施して、深さ約 $3\text{ }\mu\text{m}$ のエッチング開始パターン8を形成する。

次に、シリコン基板1を5%のフッ酸水溶液に浸漬し、シリコン基板1が陽極となるようにして、シリコン基板1と対向電極との間に約3Vの電圧を印加する。

5 このとき、シリコン基板1の背面に発光強度を任意に変えることができる150wのハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板1の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板1の電流密度が $26\text{ mA/cm}^2$ となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。かくして、図15Dに示すように、エッチング部8'が形成される。このエッチング部8'が所望の深さに到達した後、

10 ハロゲンランプの光の強度を強めることによりシリコン基板1の電流密度を $40\text{ mA/cm}^2$ に高めて、隣接するエッチング面が前工程で作製した構造体の下部で接続するよう、約10分間エッチングを施す。これにより、図15Eに示すように、シリコン基板1の一部からなる単結晶中空構造体9が作製されるとともに、この中空構造体9の下に中空部10が形成される。さらに、図15Fに示すよう

15 に、シリコンを少量ドーブしたアルミを配線材57及び中空構造質量体9側の電極57として、例えばスパッタ法を用いて $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 程度成膜する。

これと平行して、図16Aに示すように、ガラス基板58を準備する。そして、図16Bに示すように、フッ酸を用いてガラス基板58に深さ $5\text{ }\mu\text{m}$ のギャップ59（凹部）を形成する。さらに、図16Cに示すように、ギャップ59の底面

20 に、シリコンを少量ドーブしたアルミをスパッタ法により $0.2\text{ }\mu\text{m}$ を形成し、これを質量体9の対向電極60とする。この後、図16Dに示すように、前記の中空構造質量体9を形成した基板1とギャップ59を形成したガラス基板58とを接合する。

ここで、中空部の深さは、前記の $40\text{ mA/cm}^2$ で行ったエッチングの実施

25 時間を調節することにより任意の値とすることができる。ここでエッチャントとして用いたフッ酸水溶液の濃度は、1%以上かつ20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸水溶液の濃度が1%未満ではエレクトロポリッシングが起り、また20%以上では滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印加電圧は10V以下に設定する

5      のが望ましい。10 Vを超える電圧を印加した場合、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。ここで、印加電圧は、定電圧源から出力された電圧ではなく、シリコン基板に印加されている電圧を意味する。さらに、n型シリコン基板1のシート抵抗は0.1  $\Omega \cdot \text{cm}$ 以上かつ50  $\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲内に設定するのが好ましい。n型シリコン基板1のシート抵抗が0.1  $\Omega \cdot \text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また50  $\Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。また、初期エッチングの深さは、それに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。但し、初期エッチングを行わない場合は、初期エッチングを行った場合と比較して、作製される構造体の寸法精度が劣るので、構造体の精度が必要な場合は、初期エッチングを施すのが好ましい。さらに、シリコン基板の初期の厚みは初期エッチング、またそれに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。

10      また、中空構造を作製するためにシリコン基板1の電流密度を高める際に、印加電圧を高めることによって電流密度を変化させても同様の効果が得られる。

15      図16Dにおいて、質量体9に慣性力が矢印61の方向に印加された場合、片持ち梁で保持された質量体9は矢印61の方向に変位する。これにより、質量体9とガラス基板58とで形成された容量が変化し、質量体9に印加された慣性力を測定することができる。

20      この実施の形態9に係る製造方法により製造された慣性力センサにおいては、中空構造体9が単結晶シリコンで構成されているので、該慣性力センサは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体9の下の中空部10を大きくすることができるので、中空構造体9がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、この慣性力センサの製造方法によれば、中空構造体である可動部の形状を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価に慣性力センサを得ることができる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板1の結晶方位の影響を受けず、シリコン基板1の上に任意の形状を有するエッチング開始

25

パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイスの構造を作製することができる。また質量体の変位を、質量体 9 とガラス基板 5 8 との間の容量変化として検知するので感度が優れた慣性力センサを得ることができる。

#### 産業上の利用の可能性

以上のように、本発明に係る慣性力センサないしはその製造方法は、加速度、角速度等を検出するための慣性力センサとして有用であり、とくに自動車の車体制御装置、安全装置等のセンサとして用いるのに適している。

## 請求の範囲

1. 力が加えられたときに変位する質量体と、該質量体を保持する少なくとも1本の保持梁と、該保持梁の一端を固定する固定部とを備えていて、上記質量体の  
5 変位に基づいて該質量体に作用する慣性力を検出するようになっている慣性力センサであって、

上記質量体が、シリコン基板の内部がエッチングにより除去されてなる中空構造体であり、

上記固定部が、上記シリコン基板本体部の少なくとも一部である慣性力センサ。  
10 2. 上記質量体に作用する慣性力を、上記質量体の変位によって惹起される上記保持梁の撓みに基づいて検出するようになっている請求項1に記載の慣性力センサ。

3. 上記質量体に対してシリコン基板表面と平行な方向に作用する慣性力を、上記質量体によって支持された第1片持ち梁と、シリコン基板の固定部によって支持された第2片持ち梁との間の容量に基づいて検出するようになっている請求項  
15 1に記載の慣性力センサ。

4. 上記質量体に対してシリコン基板表面と垂直な方向に作用する慣性力を、上記質量体と、上記シリコン基板に接合されたもう1つの基板の表面に設けられた対向電極との間の容量に基づいて検出するようになっている請求項1に記載の慣性力センサ。  
20

5. 上記固定部にエッチングホールが設けられている請求項1に記載の慣性力センサ。

6. 上記保持梁の撓みを、該保持梁の撓み方向にみて該保持梁の少なくとも一端側に配置されたピエゾ抵抗体の抵抗値に基づいて検出するようになっている請求項2に記載の慣性力センサ。  
25

7. 力が加えられたときに変位する質量体と、該質量体を保持する少なくとも1本の梁と、該梁の一端を固定する固定部とを備えていて、上記質量体の変位に基づいて該質量体に作用する慣性力を検出するようになっている慣性力センサの製造方法であって、

シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、

- 5 上記シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチング施し、上記エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びるエッチング部を形成する第1エッチング工程と、

- 10 上記エッチング部が所定の深さに到達した後、上記シリコン基板内に流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位で隣り合うエッチング部同士を連通させ、シリコン基板の一部からなる中空構造体を形成する第2エッチング工程とを含んでいて、

上記中空構造体を上記質量体とし、上記シリコン基板本体部の少なくとも一部を上記固定部とするようにした慣性力センサの製造方法。

- 15 8. 上記エッチング開始パターン形成工程で、上記シリコン基板の上記固定部が形成されるべき部位にエッチングホールを形成するようにした請求項7に記載の慣性力センサの製造方法。

9. 上記エッチング開始パターン形成工程で、シリコン基板材料をブロック状に除去すべき部分を囲む連続したエッチング開始パターンを形成し、

- 20 上記第2エッチング工程で、上記除去すべき部分をエッチングによりシリコン基板本体部から除去するようになっている請求項7に記載の慣性力センサの製造方法。

図1A



図1B



図1C

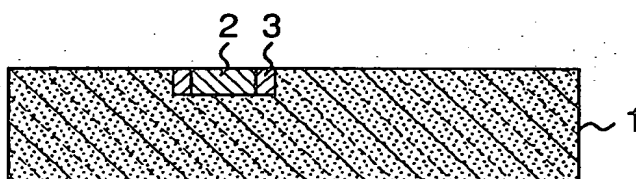


図1D

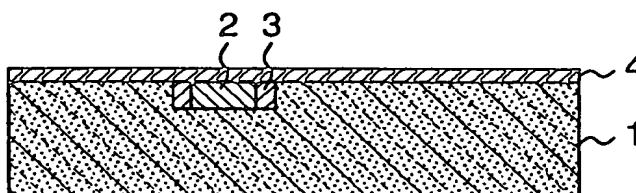
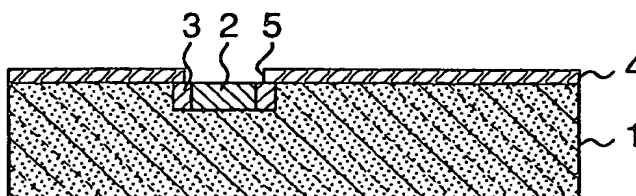


図1E





2/18

図1F

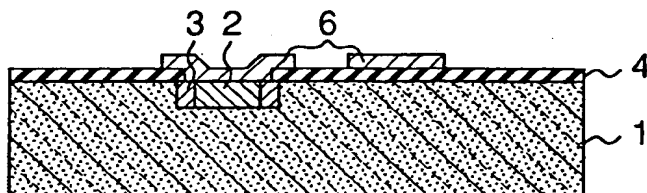


図1G

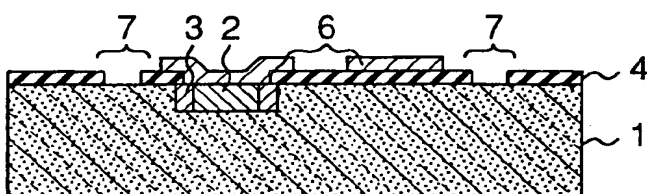


図1H

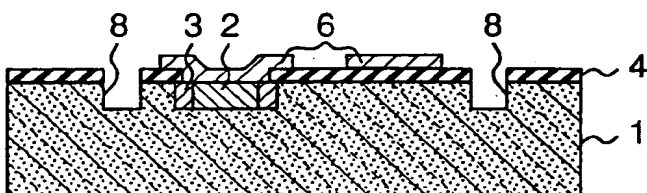


図1I

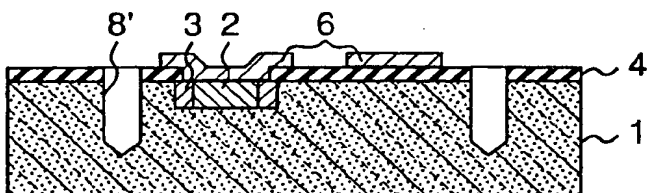


図1J

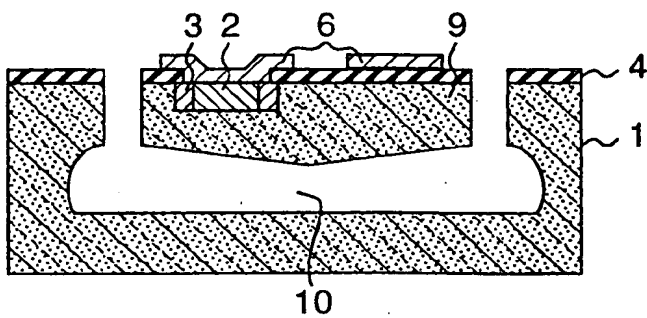


図2

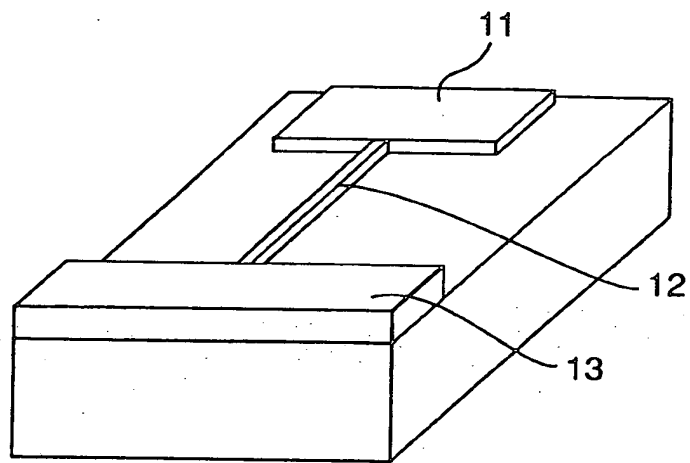
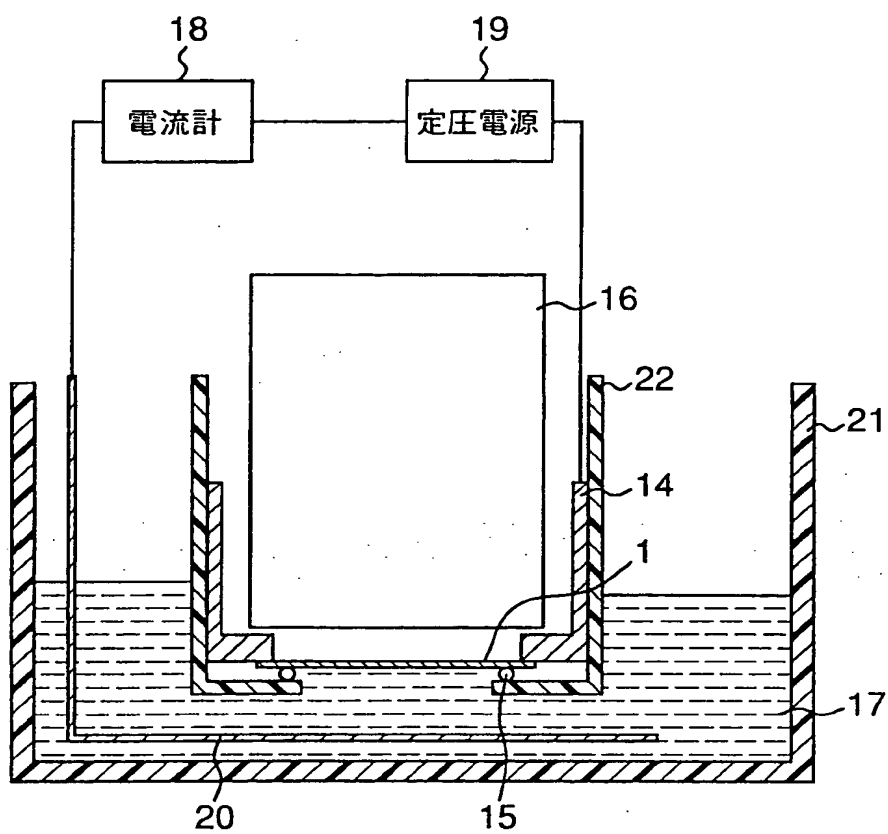


図3



5/18

図4A

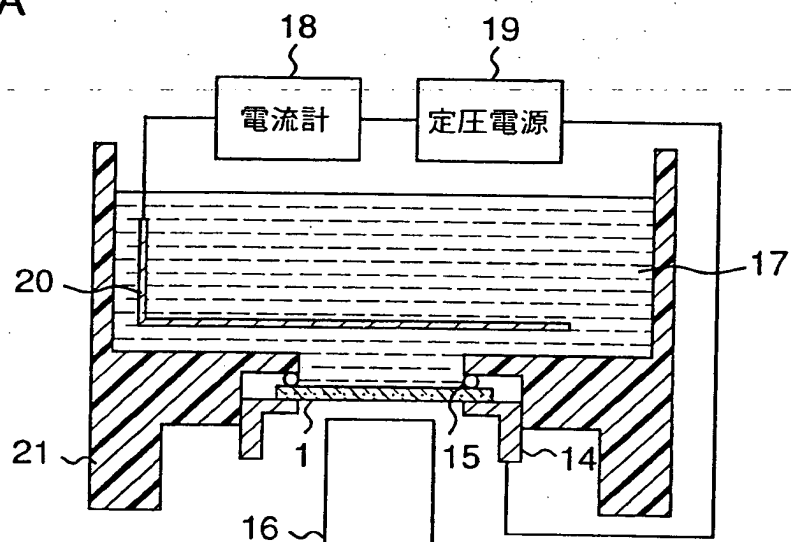


図4B

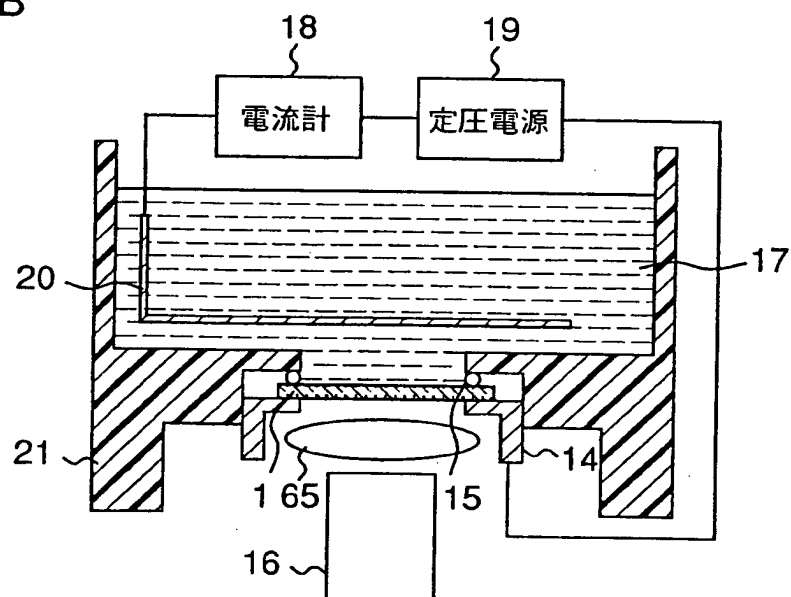


図5

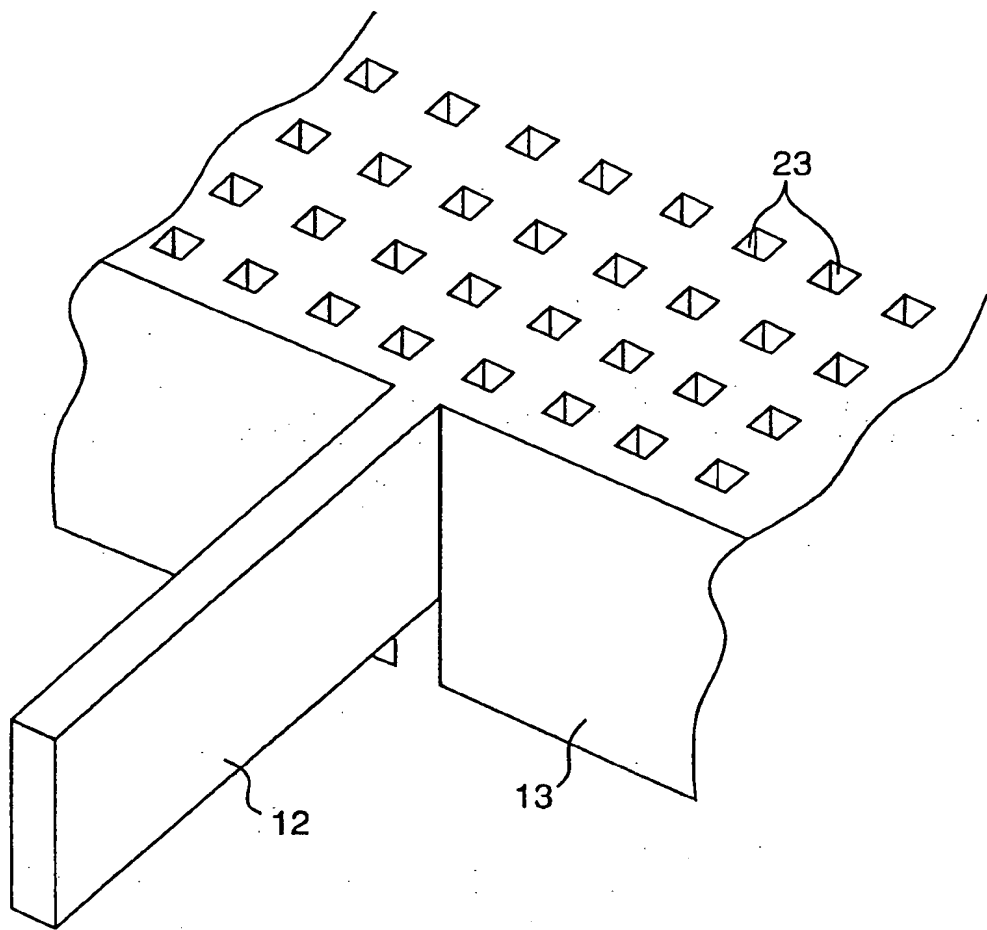


図6A

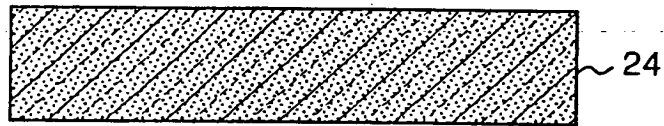


図6B

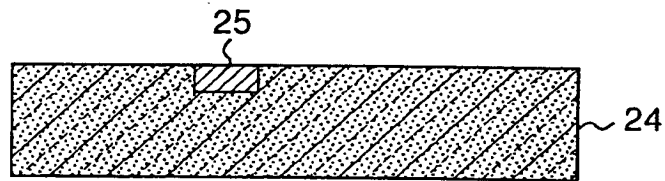


図6C

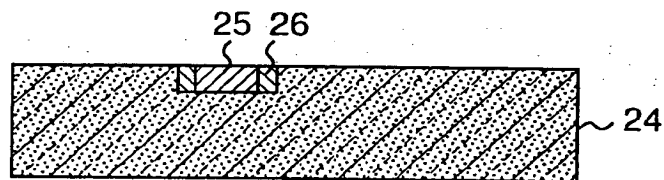


図6D

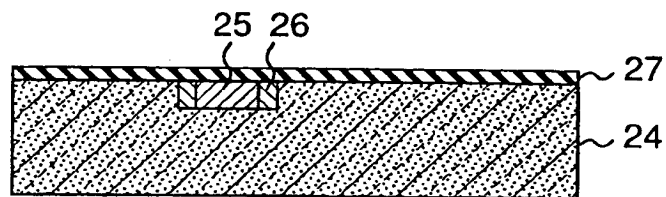
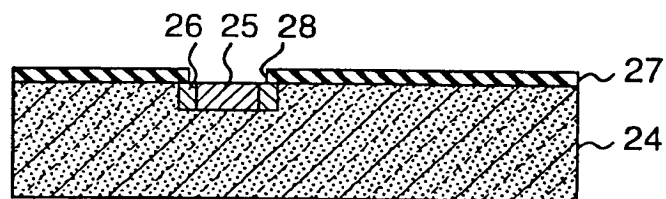


図6E



8/18

図6F

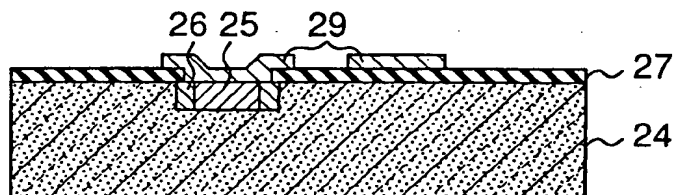


図6G

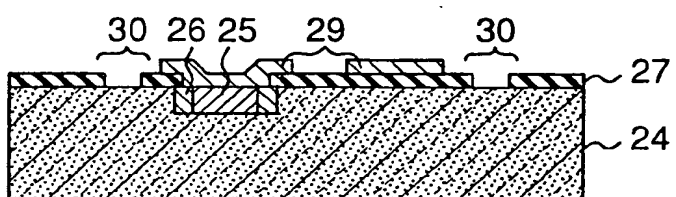


図6H

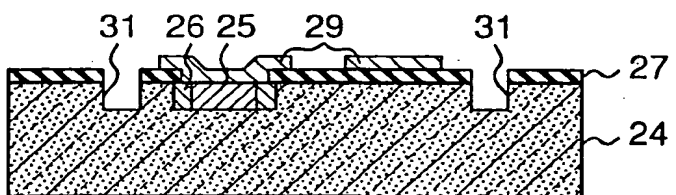


図6I

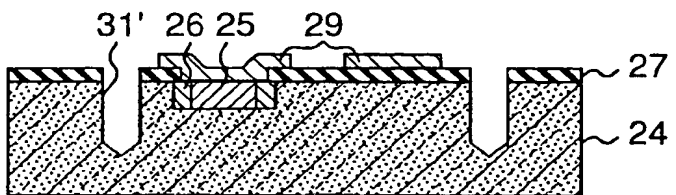
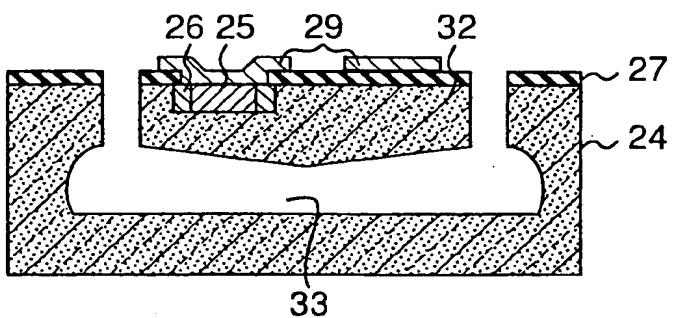


図6J



9/18

図7

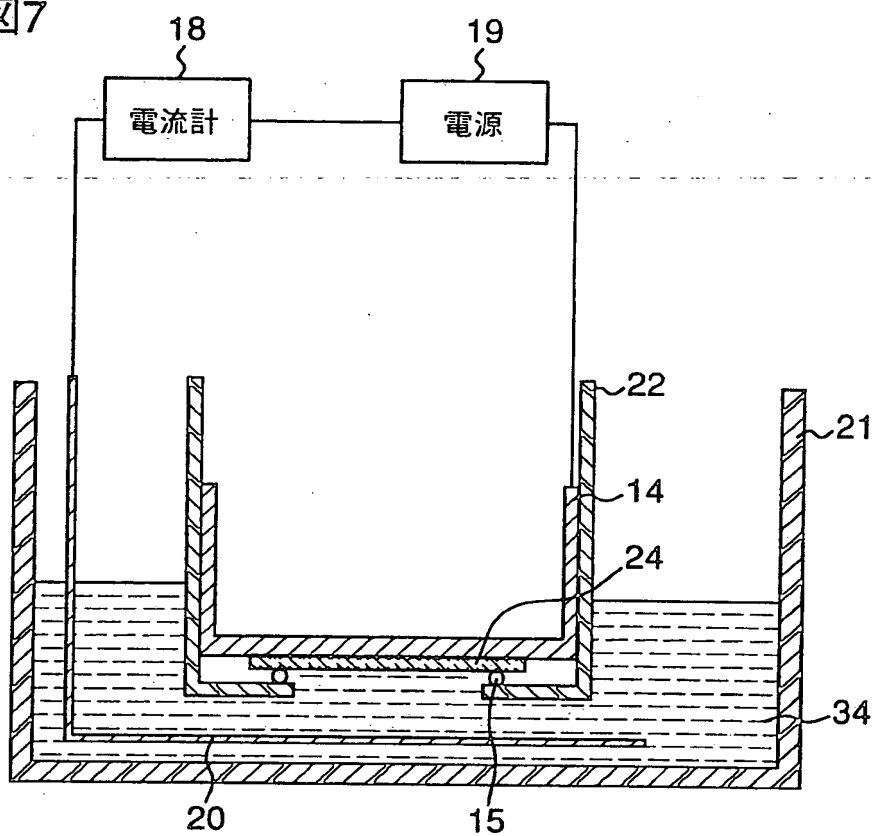


図8

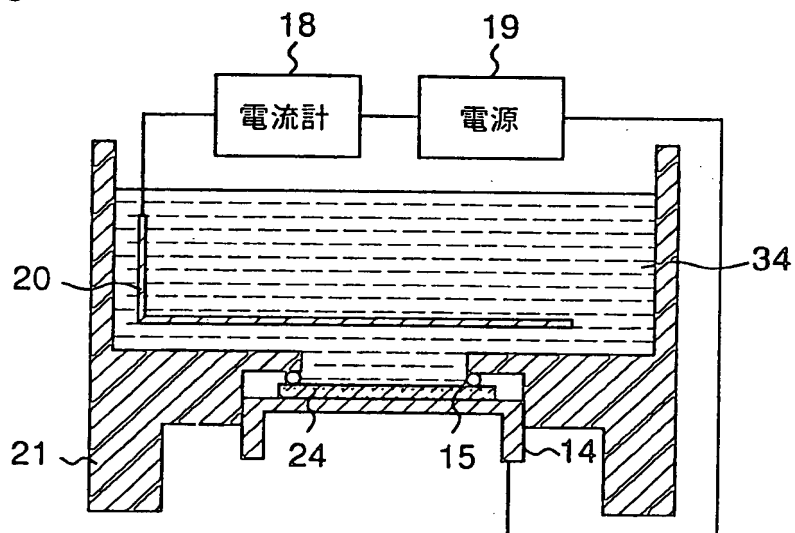
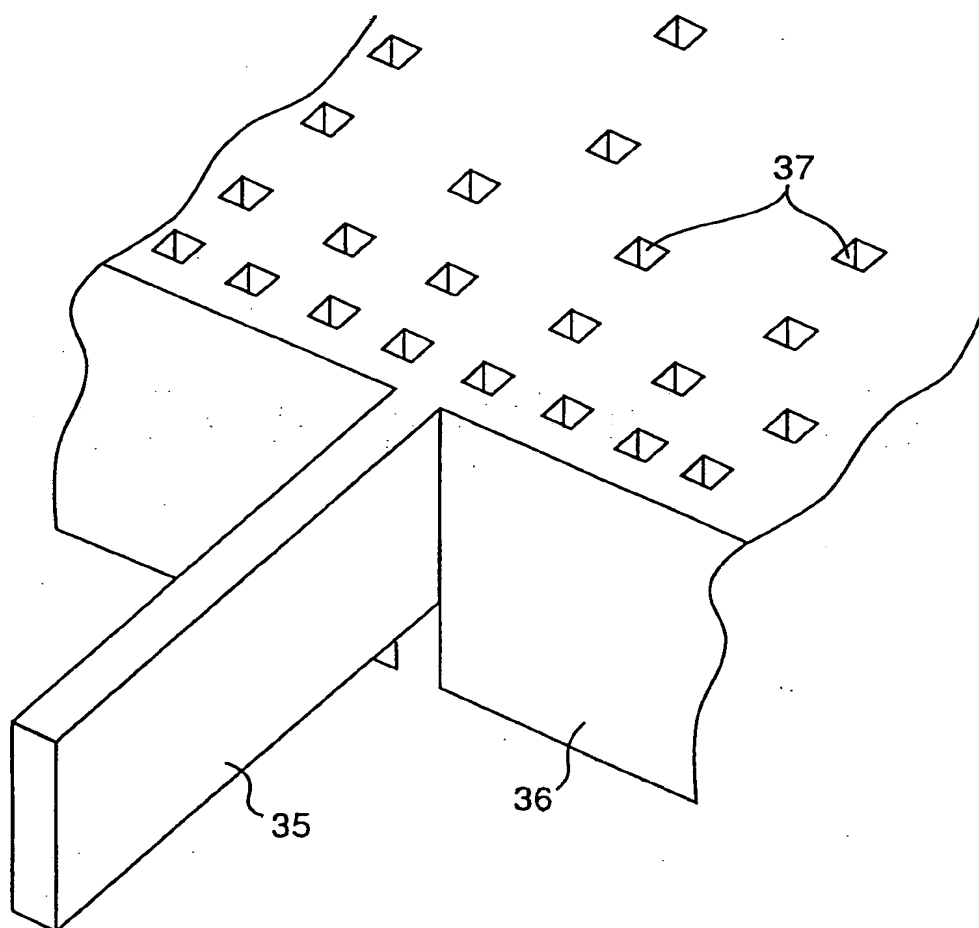




図9



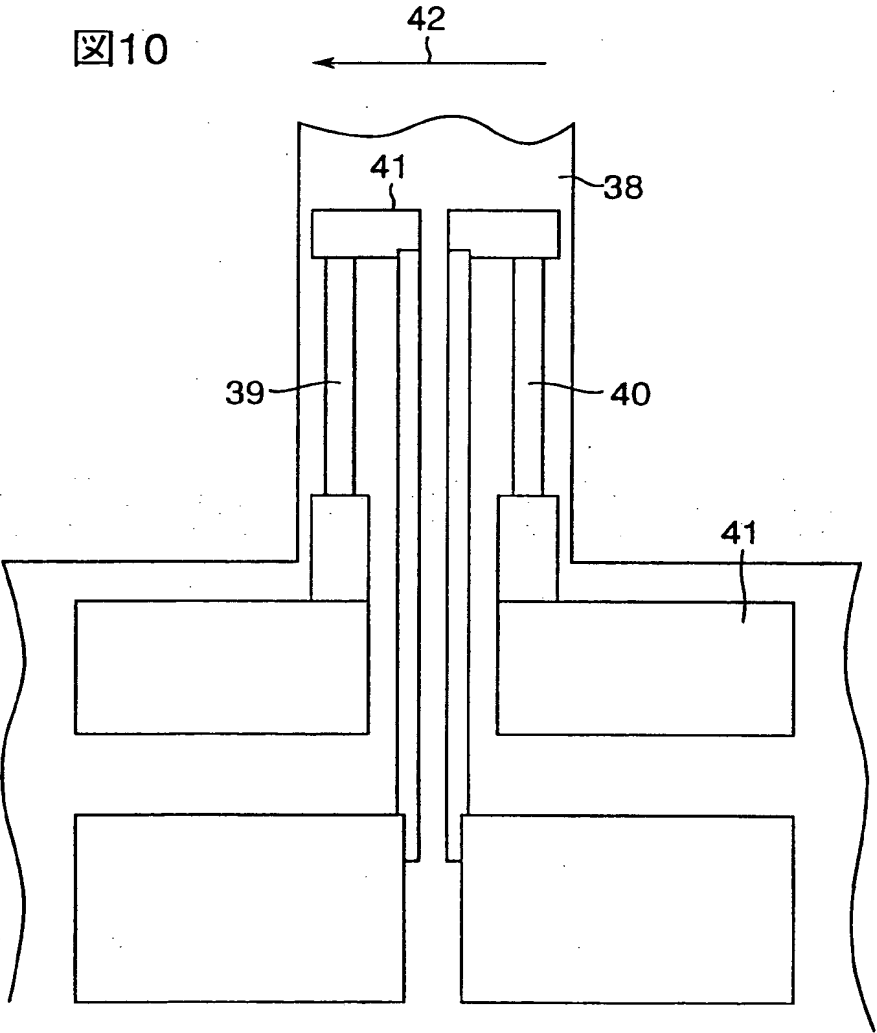


図11

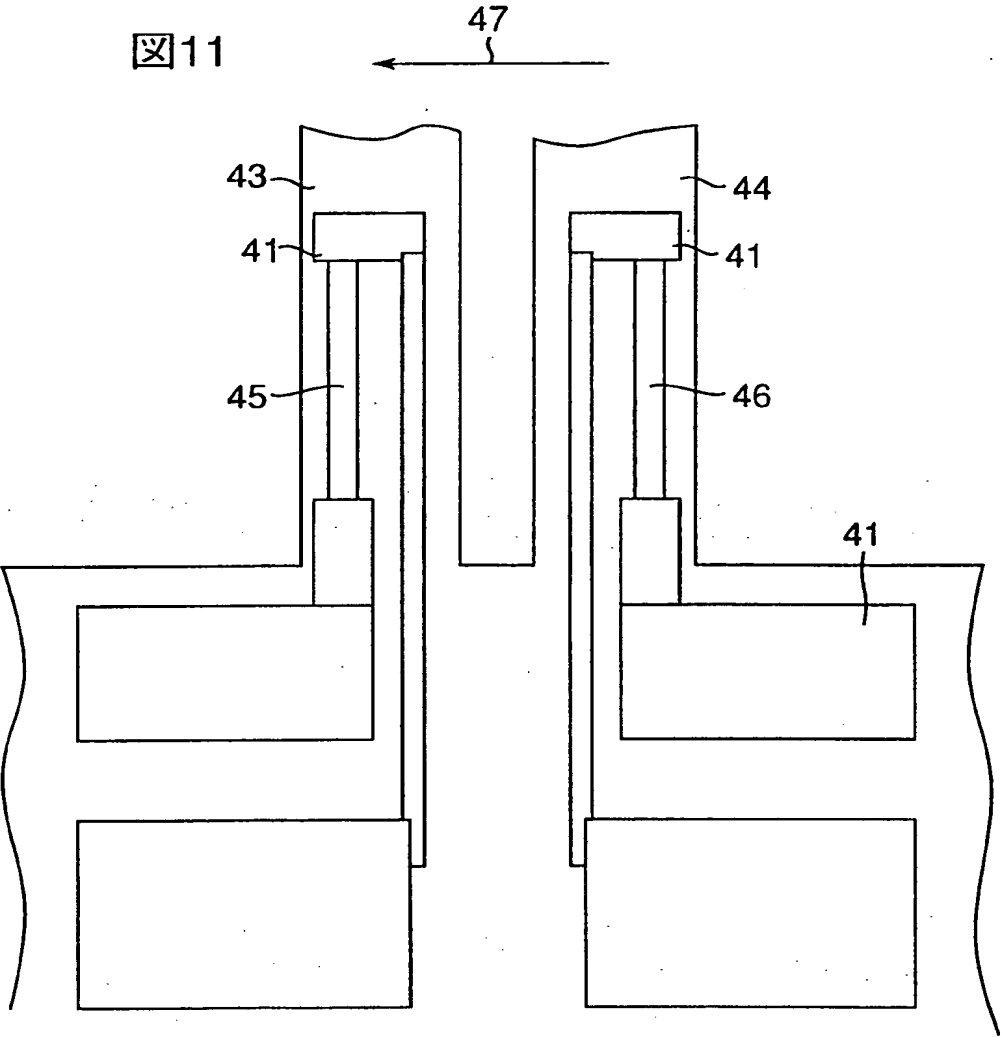


図12

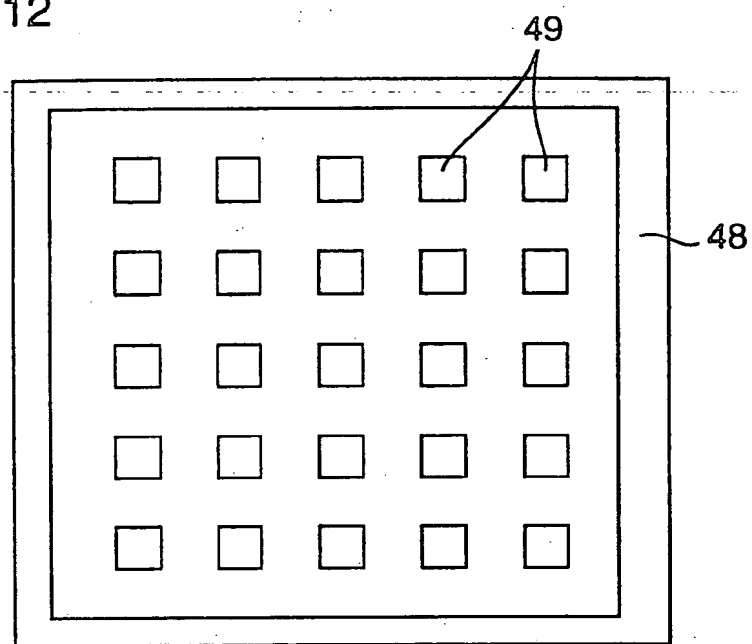
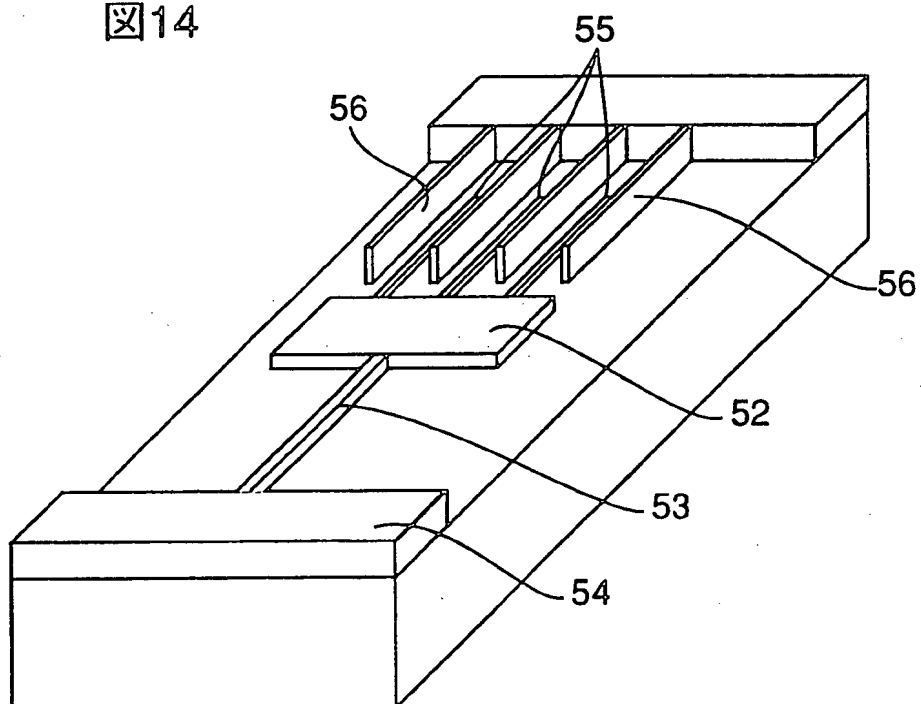


図14



14/18

図13A

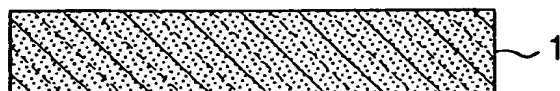


図13B

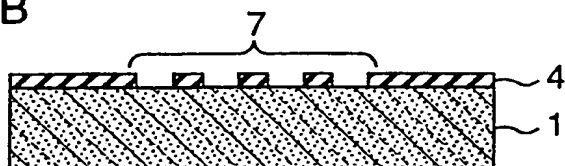


図13C

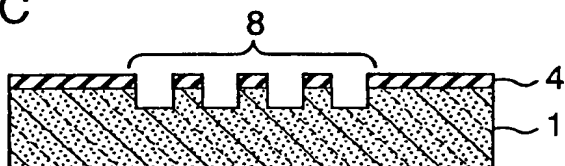


図13D

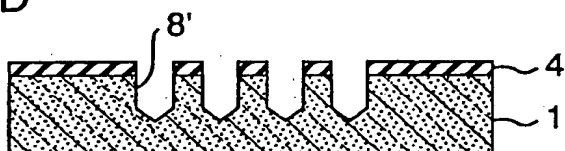


図13E

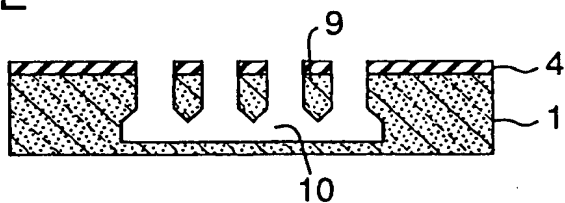


図13F

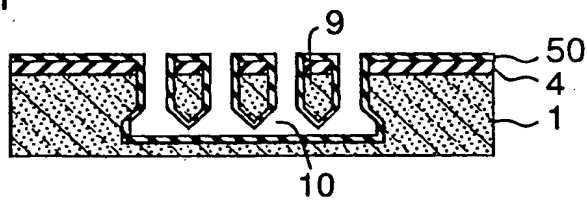
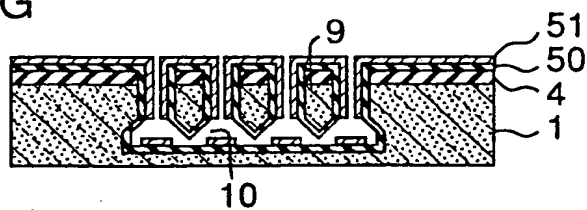


図13G



15/18

図15A

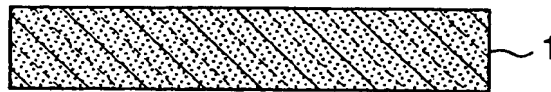


図15B

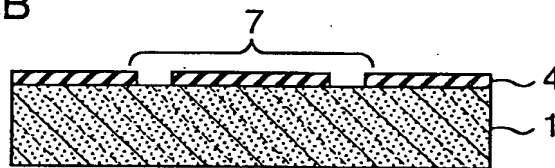


図15C

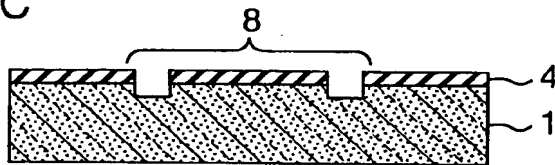


図15D

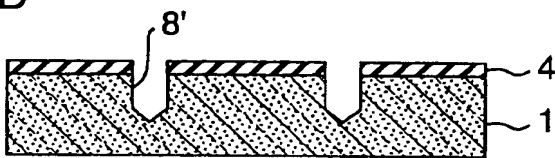


図15E

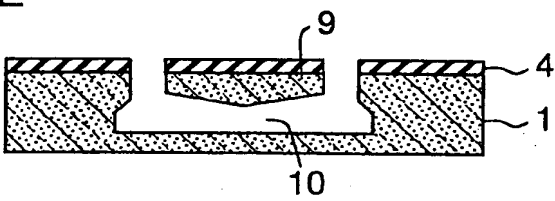
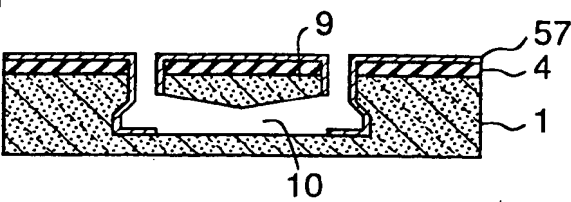


図15F



16/18

図16A



図16B

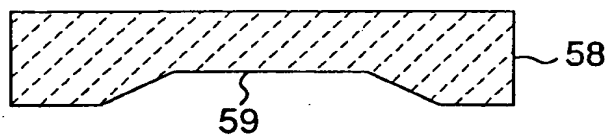


図16C

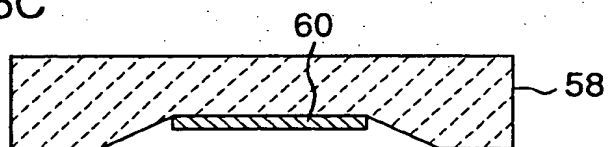


図16D

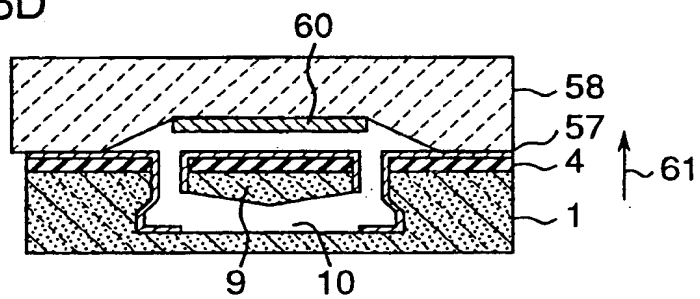


図17A

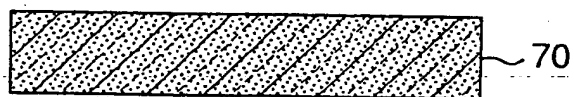


図17B

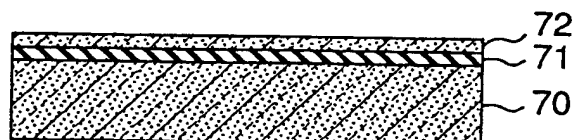


図17C

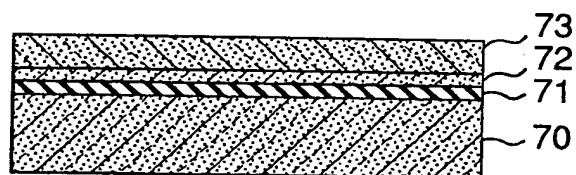


図17D

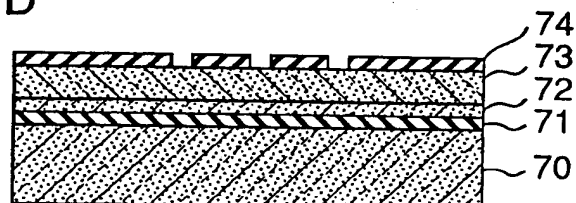


図17E

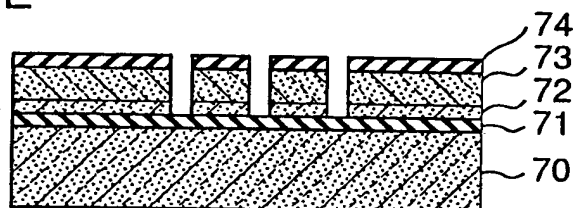
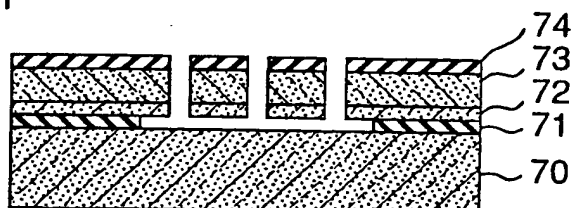


図17F





18/18

図18A

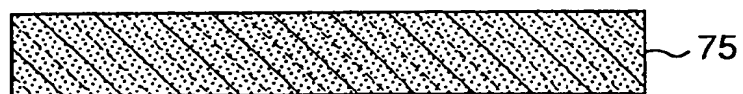


図18B

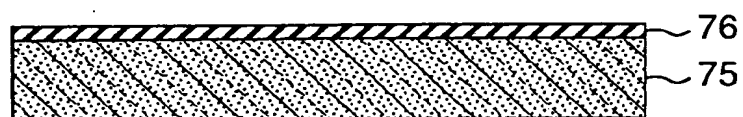


図18C

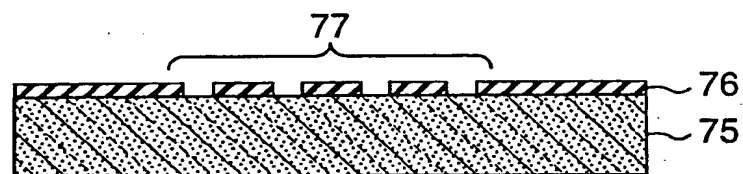


図18D

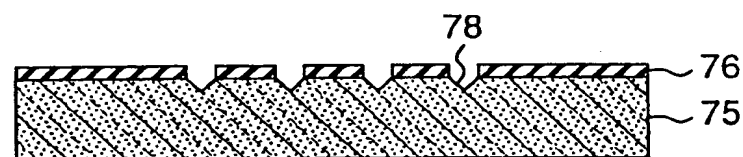


図18E

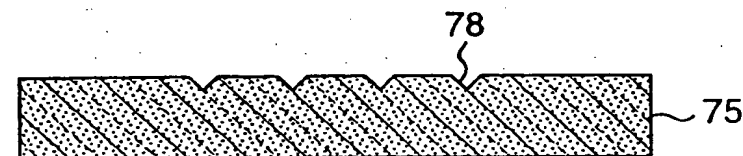
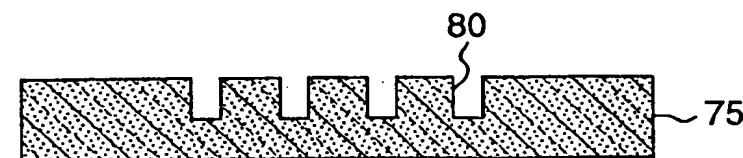


図18F



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/00078

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>6</sup> H01L29/84, G01L9/04, G01P15/12, G01P15/125

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>6</sup> H01L29/84, G01L9/04, G01P15/12, G01P15/125

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-1999
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-1999	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 7-15019, A (General Motors Corp.), 17 January, 1995 (17. 01. 95),	1
Y	Column 8, line 10 to column 20, line 46 ; Figs. 2 to 10	2, 4, 6
A	& EP, 624900, A & US, 5531121, A	3, 5, 7-9
X	JP, 8-236785, A (Tokai Rika Co., Ltd.), 13 September, 1996 (13. 09. 96),	1, 2, 6
Y	Column 3, line 50 to column 9, line 28 ; Figs. 1 to 20 (Family: none)	4
A		3, 5, 7-9
X	JP, 8-236789, A (Tokai Rika Co., Ltd.), 13 September, 1996 (13. 09. 96),	1, 4
Y	Column 6, line 30 to column 10, line 45 ; Figs. 1 to 8 (Family: none)	2, 6
A		3, 5, 7-9
Y	JP, 4-323566, A (Fuji Electric Co., Ltd.), 12 November, 1992 (12. 11. 92),	2, 4, 6
	Column 3, line 44 to column 6, line 48 ; Figs. 1, 2 (Family: none)	

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
8 April, 1999 (08. 04. 99)

Date of mailing of the international search report  
20 April, 1999 (20. 04. 99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>8</sup> H01L29/84 Int. Cl <sup>8</sup> G01L9/04 Int. Cl <sup>8</sup> G01P15/12, G01P15/125			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>8</sup> H01L29/84 Int. Cl <sup>8</sup> G01L9/04 Int. Cl <sup>8</sup> G01P15/12, G01P15/125  最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-1999年 日本国実用新案登録公報 1996-1999年 日本国登録実用新案公報 1994-1999年  国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
X	JP, 7-15019, A (ゼネラル・モーターズ・コーポレーション) 17. 1月. 1995 (17. 01. 95), 第8欄第10行-第20欄第46行, 図2-図10&EP, 624900, A&US, 5531121, A	1	
Y		2, 4, 6	
A		3, 5, 7-9	
X	JP, 8-236785, A (株式会社東海理化電機製作所) 13. 9月. 1996 (13. 09. 96), 第3欄第50行-第9欄第28行, 図1-図20 (ファミリーなし)	1, 2, 6	
Y		4	
A		3, 5, 7-9	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 08. 04. 99		国際調査報告の発送日 20.04.99	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 栗野正明	4M 9353
		電話番号 03-3581-1101	内線 6767

## C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP, 8-236789, A (株式会社東海理化電機株式会社) 1 3. 9月. 1996 (13. 09. 96), 第6欄第30行-第1 0欄第45行, 図1-図8 (ファミリーなし)	1, 4
Y		2, 6
A		3, 5, 7- 9
Y	JP, 4-323566, A (富士電機株式会社) 12. 11月. 1992 (12. 11. 92), 第3欄第44行-第6欄第48 行, 図1-図2 (ファミリーなし)	2, 4, 6

**PCT**  
 WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
 Internationales Büro  
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



<b>(51) Internationale Patentklassifikation 6 :</b> <b>G02B 6/124, 6/136, H01L 21/3063, G02B 5/18</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 97/04340</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 6. Februar 1997 (06.02.97)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE96/01256 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 11. Juli 1996 (11.07.96)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 195 26 734.6      21. Juli 1995 (21.07.95)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).  <b>(72) Erfinder; und</b> <b>(75) Erfinder/Anmelder (nur für US):</b> GRÜNING, Ulrike [DE/DE]; Zittelstrasse 5, D-80796 München (DE). LEHMANN, Volker [DE/DE]; Geyerspergerstrasse 53, D-80689 München (DE).		<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>

**(54) Title: OPTICAL STRUCTURE AND METHOD FOR ITS PRODUCTION**

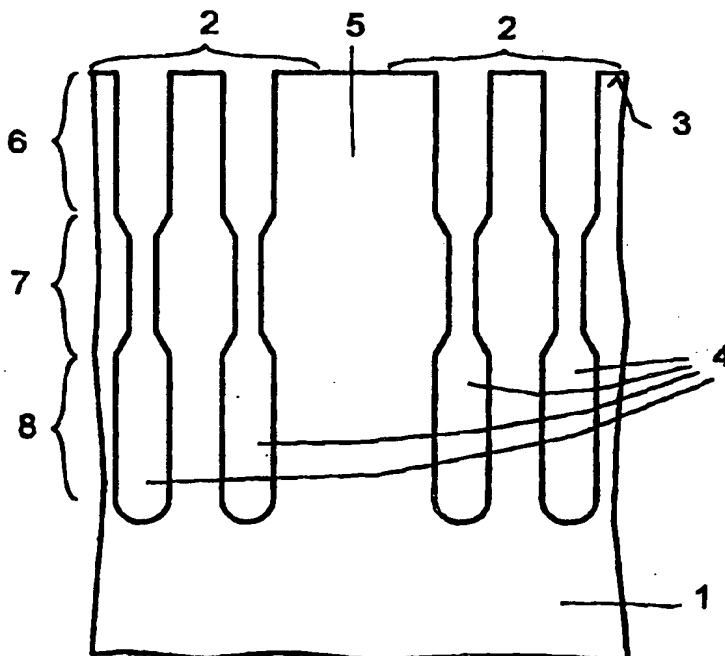
**(54) Bezeichnung: OPTISCHE STRUKTUR UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG**

**(57) Abstract**

The invention concerns an optical structure which is suitable as a light guide or cavity and comprises a carrier (1) with a grid structure (2) having a photonic band gap and a defective region (5). The grid structure (2) comprises pores (4) which are disposed in a periodic raster and have a constricted section. The periodic raster is interrupted in the defective region. The optical structure can be produced by etching silicon electrochemically.

**(57) Zusammenfassung**

Eine optische Struktur, die als Lichtleiter oder Kavität geeignet ist, umfaßt einen Träger (1) mit einer Gitterstruktur (2) mit einer photonischen Bandlücke und einem Defektbereich (5). Die Gitterstruktur (2) umfaßt in einem periodischen Raster angeordnete Poren (4), die eine Einschnürung aufweisen. Das periodische Raster ist dabei im Defektbereich gestört. Die optische Struktur ist durch elektrochemisches Ätzen von Silizium herstellbar.





# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AM	Armenien	GB	Vereinigtes Königreich	MX	Mexiko
AT	Österreich	GE	Georgien	NE	Niger
AU	Australien	GN	Guinea	NL	Niederlande
BB	Barbados	GR	Griechenland	NO	Norwegen
BE	Belgien	HU	Ungarn	NZ	Neuseeland
BF	Burkina Faso	IE	Irland	PL	Polen
BG	Bulgarien	IT	Italien	PT	Portugal
BJ	Benin	JP	Japan	RO	Rumänien
BR	Brasilien	KE	Kenya	RU	Russische Föderation
BY	Belarus	KG	Kirgisistan	SD	Sudan
CA	Kanada	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SG	Singapur
CG	Kongo	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CH	Schweiz	LI	Liechtenstein	SK	Slowakei
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CM	Kamerun	LR	Liberia	SZ	Swasiland
CN	China	LK	Litauen	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TG	Togo
CZ	Tschechische Republik	LV	Lettland	TJ	Tadschikistan
DE	Deutschland	MC	Monaco	TT	Trinidad und Tobago
DK	Dänemark	MD	Republik Moldau	UA	Ukraine
EE	Estland	MG	Madagaskar	UG	Uganda
ES	Spanien	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
FI	Finnland	MN	Mongolei	UZ	Usbekistan
FR	Frankreich	MR	Mauretanien	VN	Vietnam
GA	Gabon	MW	Malawi		





## Beschreibung

## Optische Struktur und Verfahren zu deren Herstellung

- 5 In Lichtleitern, wie sie zum Beispiel für die optische Datenübertragung verwendet werden, sowie Kavitäten, wie sie zum Beispiel auf Laserresonatoren verwendet werden, wird die Ausbreitung von Licht in mindestens zwei Raumrichtungen be-
- 10 grenzt. Die Wellenführung erfolgt dabei üblicherweise durch eine Totalreflexion an der Grenzfläche zwischen einem optisch dichteren und einem optisch dünneren Medium. Das Licht breitet sich dabei im optisch dichteren Medium aus.
- 15 Neuere wissenschaftliche Arbeiten beschäftigen sich mit der Ausbreitung von Licht in periodischen dielektrischen Gitterstrukturen. Die Ausbreitung von Licht in derartigen Strukturen kann analog zu der Ausbreitung von Elektronen in einem Kristall beschrieben werden. Ist die Wellenlänge des Lichtes
- 20 in der Größenordnung der Abmessungen des Gitters, so kann sich eine photonische Bandlücke bilden. Die photonische Bandlücke ist ein Frequenzbereich, in dem sich Photonen nicht ausbreiten können. Das heißt, wird auf eine derartige Struktur Licht mit einer Frequenz, die im Frequenzbereich der photonischen Bandlücke liegt, eingestrahlt, so kann sich dieses
- 25 Licht in der Struktur nicht ausbreiten. Es wird vielmehr an der Oberfläche reflektiert. Dieser Effekt wurde experimentell bestätigt (siehe zum Beispiel E. Yablonovich, „Photonic Band Gaps and Localization“, ed. C. M. Soukoulis, Plenum, New
- 30 York, 1993, Seiten 207 bis 234, oder U. Grüning et al, Appl. Phys. Lett., Bd. 66, Nr. 24, 1995, Seiten 3254 bis 3256). Diese Reflexion wird auch als Braggreflexion am dielektrischen Gitter bezeichnet.
- 35 Die experimentellen Untersuchungen wurden an Strukturen durchgeführt, in denen die Gitterstruktur als Schichtaufbau mit alternierenden Schichten mit unterschiedlichem Brechungs-



index oder aus einem nichtmetallischen Material wie zum Beispiel AlGaAs oder GaAs oder Si mit in einem periodischen Raster angeordneten Poren realisiert sind. In AlGaAs und GaAs sind diese Poren durch reaktives Ionenätzen hergestellt. Im Silizium sind diese Poren durch elektrochemisches Ätzen hergestellt worden.

Aufgrund theoretischer Überlegungen und Berechnungen ist vorgeschlagen worden, den Effekt der Braggreflexion am dielektrischen Gitter zur Realisierung von Kavitäten und Lichtleitern zu nutzen (siehe zum Beispiel R. Maede et al, J. Appl. Phys., Bd. 75, Nr. 9, 1994, Seite 4753). Für einen Lichtleiter werden dabei zwei Bereiche aus einem Material mit einer photonischen Bandlücke verwendet. Als Material für die photonische Bandlücke ist GaAs mit einer periodischen Lochstruktur vorgeschlagen worden. Zwischen den beiden Bereichen ist als Lichtleiter das Ausgangsmaterial, GaAs, ohne Lochstrukturen angeordnet. In diesem Lichtleiter wird Licht einer Wellenlänge, die einer Frequenz in der photonischen Bandlücke entspricht, in einer Ebene dadurch geführt, daß es sich nicht in das Material mit der photonischen Bandlücke ausbreiten kann. In der Ebene senkrecht dazu wird das Licht durch Totalreflexion an der Grenzfläche des optisch dichteren GaAs zur umgebenden optisch dünneren Atmosphäre geführt. Zur Realisierung einer Kavität wird Material mit einer photonischen Bandlücke zur Begrenzung der Ausbreitung des Lichts in der dritten Raumrichtung vorgesehen.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, eine weitere optische Struktur anzugeben, die als Lichtleiter oder Kavität geeignet ist und in der die Lichtausbreitung in mindestens einer Raumrichtung durch Braggreflexion an dem dielektrischen Gitter verhindert wird. Weiterhin soll ein Verfahren zur Herstellung einer solchen optischen Struktur angegeben werden.

Dieses Problem wird erfindungsgemäß gelöst durch eine optische Struktur gemäß Anspruch 1 sowie ein Verfahren zu deren



Herstellung gemäß Anspruch 7. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den übrigen Ansprüchen hervor.

5 In der erfindungsgemäßen optischen Struktur ist in einem Träger eine Gitterstruktur vorgesehen. Für den Träger ist jedes Material geeignet, das das Licht, mit dem die optische Struktur betrieben werden soll, nicht absorbiert und das nicht metallisch ist. Insbesondere ist der Träger aus einem III-V-Halbleiter oder aus Silizium realisiert.

10 Die Gitterstruktur weist eine photonische Bandlücke auf, das heißt sie hat die Eigenschaft, daß es mindestens ein Frequenzband gibt, so daß sich Licht mit einer Frequenz aus diesem Frequenzband in der Gitterstruktur nicht ausbreiten kann.  
15 Die Gitterstruktur stellt ein dielektrisches Gitter dar, an dem dieses Licht braggreflektiert wird.

Die Gitterstruktur ist durch eine Anordnung von im wesentlichen senkrecht zu einer Hauptfläche des Trägers verlaufenden Poren mit im wesentlichen gleichem Querschnitt gebildet. Der Querschnitt der Poren ist vorzugsweise rund. Er kann auch eckig, zum Beispiel quadratisch sein. Außerhalb eines Defektbereiches in der Gitterstruktur sind die Poren in einem periodischen Raster angeordnet. In dem Defektbereich ist das periodische Raster dagegen gestört. Die Störung kann in einem veränderten Gitterabstand zwischen mindestens zwei Poren, im Fehlen mindestens einer Pore oder in mindestens einer Pore, die mit einem anderen Material gefüllt ist oder einen anderen Durchmesser aufweist, bestehen.

30 In der Richtung senkrecht zur Hauptfläche weisen die Poren eine Einschnürung auf. Das heißt, es gibt drei übereinander angeordnete, im wesentlichen parallel zur Hauptfläche ausgerichtete Bereiche, wobei der Durchmesser der Poren in dem mittleren Bereich kleiner ist als in den beiden äußeren Bereichen. Durch diese Variation des Durchmessers der Poren unterscheidet sich die Dielektrizitätskonstante und damit der

35



Brechungsindex im mittleren Bereich gegenüber der Dielektrizitätskonstante bzw. dem Brechungsindex in den äußeren Bereichen. Der mittlere Bereich ist damit optisch dichter als die äußeren Bereiche. In der Richtung senkrecht zur Hauptfläche wird Licht daher durch Totalreflexion an der Grenzfläche zwischen dem mittleren Bereich und den äußeren Bereichen geführt. Senkrecht dazu wird das Licht dadurch geführt, daß es sich aufgrund seiner Wellenlänge nicht in die Gitterstruktur ausbreiten kann, da die Gitterstruktur für diese Wellenlänge eine photonische Bandlücke aufweist. In der erfindungsgemäßen optischen Struktur wird das Licht im Träger unterhalb der Hauptfläche geführt.

Die Form des Lichtleiters oder die Kavität wird über die geometrische Form des Defektbereichs bestimmt. Eine Kavität wird dadurch gebildet, daß der Defektbereich in zwei Richtungen der Hauptfläche durch die Gitterstruktur begrenzt wird. Für einen Lichtleiter ist der Defektbereich weiter ausgedehnt, so daß die Gitterstruktur in zwei Teile unterteilt wird. Der Lichtleiter kann dabei gerade verlaufen oder Winkel aufweisen.

Über die Abmessung des Defektbereichs senkrecht zur Ausbreitung des Lichtes läßt sich das in dem Defektbereich geführte Licht bezüglich seiner Wellenlänge und/oder Mode fein abstimmen. Je schmaler der Defektbereich ist, desto schärfer ist die Auswahl des geführten Lichtes bezüglich Frequenz und Mode.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, daß die Poren in dem Träger mehr als eine Einschnürung aufweisen. Damit werden zwei oder mehr Lichtleiter oder Kavitäten, die übereinander verlaufen, realisiert.

Über die Form des periodischen Rasters lassen sich weitere Eigenschaften der optischen Struktur einstellen. Ist das periodische Raster quadratisch, so ist die optische Struktur





zur Lichtführung von polarisiertem Licht geeignet. In diesem Fall kommt es zur Ausbildung von photonischen Bandlücken für die beiden Polarisationsrichtungen des Lichtes, die sich nicht überlappen. Ist das Raster dagegen trigonal, so überlappen die photonischen Bandlücken für beide Polarisationsrichtungen des Lichtes und die optische Struktur ist zur Wellenführung von unpolarisiertem Licht geeignet.

Die optische Struktur kann durch Aufeinanderstapeln unterschiedlich strukturierter Schichten hergestellt werden. Sie kann ferner durch anisotropes Ätzen in einem Substrat, wobei das Ätzen von zwei gegenüberliegenden Flächen erfolgt, gebildet werden. Der eingeschnürte Bereich wird zum Beispiel unter Verwendung einer Spacertechnik realisiert.

Vorzugsweise wird die optische Struktur auf der Basis von n-dotiertem Silizium durch elektrochemisches Ätzen hergestellt. Dabei werden zunächst in einer Hauptfläche eines n-dotierten Siliziumsubstrates in einem periodischen Raster angeordnete Vertiefungen erzeugt. Das Raster weist dabei einen Defektbereich auf, in dem mindestens eine Vertiefung fehlt. Die elektrochemische Ätzung wird in einem Elektrolyten durchgeführt, der vorzugsweise fluoridhaltig und sauer ist und mit dem die Hauptfläche in Kontakt steht. Zwischen den Elektrolyten und das Siliziumsubstrat wird eine Spannung angelegt, so daß das Siliziumsubstrat als Anode verschaltet ist. Dadurch bewegen sich Minoritätsladungsträger in dem n-dotierten Silizium zu der mit dem Elektrolyten in Kontakt stehenden Hauptfläche. An dieser Hauptfläche bildet sich eine Raumladungszone aus. Da die Feldstärke im Bereich von Vertiefungen in der Hauptfläche größer ist als außerhalb davon, bewegen sich die Minoritätsladungsträger bevorzugt zu diesen Punkten. Dadurch kommt es zu einer selbstjustierten Strukturierung der Oberfläche. Je tiefer an anfänglich kleine Vertiefung durch die Ätzung wird, desto mehr Minoritätsladungsträger bewegen sich wegen der vergrößerten Feldstärke dorthin und desto stärker ist der



Ätzangriff an dieser Stelle. Die Poren wachsen mit zunehmender Ätzzeit.

Der Ätzangriff ist abhängig von der Stromdichte in dem Siliziumsubstrat. Durch Erhöhung der Stromdichte im Elektrolyten wird der Ätzangriff und damit der Querschnitt der Pore vergrößert. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Ätzung in mindestens drei Ätzschritten durchgeführt. Im ersten Ätzschritt wird mit einem ersten Wert für die Stromdichte geätzt, in einem zweiten Ätzschritt mit einem zweiten Wert für die Stromdichte und in einem dritten Ätzschritt mit einem dritten Wert für die Stromdichte geätzt. Dabei ist der zweite Wert für die Stromdichte im zweiten Ätzschritt geringer als der erste Wert für die Stromdichte im ersten Ätzschritt und der dritte Wert für die Stromdichte im dritten Ätzschritt. Dadurch werden die Poren mit einer Einschnürung gebildet. Die Einschnürung wird durch den geringeren, zweiten Wert für die Stromdichte bewirkt.

Zur Herstellung der optischen Struktur mit Poren, die zwei oder mehr Einschnürungen aufweisen, wird die elektrochemische Ätzung entsprechend in fünf oder mehr Ätzschritten durchgeführt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Figuren näher erläutert.

Figur 1 zeigt eine Aufsicht auf eine optische Struktur mit einem Lichtleiter.

Figur 2 zeigt den in Figur 1 mit II-II bezeichneten Schnitt durch die optische Struktur mit dem Lichtleiter.

Figur 3 zeigt eine Aufsicht auf eine optische Struktur mit mindestens einer Kavität.



Figur 4 zeigt den in Figur 3 mit IV-IV bezeichneten Schnitt durch die optische Struktur, wobei die Poren zwei Einschnürungen aufweisen.

5 Ein Träger 1 aus n-dotiertem, monokristallinem Silizium umfaßt eine Gitterstruktur 2 (siehe Figur 1 und Figur 2). Die Gitterstruktur 2 wird durch eine periodische Anordnung von im wesentlichen senkrecht zu einer Hauptfläche 3 des Trägers 1 verlaufenden Poren 4 mit im wesentlichen rundem Querschnitt  
10 gebildet. In der Gitterstruktur 2 gibt es einen Defektbereich 5, in dem das periodische Raster dadurch gestört ist, daß in diesem Bereich keine Poren 4 angeordnet sind. Der Defektbereich 5 weist zum Beispiel in der Breite die Ausdehnung von einer Pore 4 auf.

15 Die Poren 4 sind zum Beispiel in einem trigonalen Raster angeordnet. Über den Abstand benachbarter Poren 4 wird dabei der Wellenlängenbereich des Lichtes eingestellt, für das im Defektbereich 5 eine Wellenführung auftritt. Für den Abstand  
20 der Mittelpunkte benachbarter Poren  $a$  und die Wellenlänge  $\lambda$  gilt dabei allgemein die Beziehung  $a/\lambda = 0,2 \text{ bis } 0,5$ . Durch entsprechende Anordnung der Poren im Raster ist die Wellenlänge des geführten Lichtes über den gesamten Wellenlängenbereich verschiebbar, in dem das Material des Trägers 1 nicht absorbiert. In dem Beispiel, daß der Träger 1 aus Silizium besteht  
25 heißt das, daß eine Wellenführung im Wellenlängenbereich zwischen  $1,1 \mu\text{m}$  und  $100 \mu\text{m}$  sicher eingestellt werden kann. Zur Wellenführung im Wellenlängenbereich von  $5 \text{ bis } 6 \mu\text{m}$  beträgt der Abstand benachbarter Poren 4  $a = 1,5 \mu\text{m}$  bis  $2,5 \mu\text{m}$ .

30 In einem ersten Bereich 6, der sich von der Hauptfläche 3 bis in den Träger 1 hineinerstreckt, weisen die Poren 4 einen Durchmesser von zum Beispiel  $2,2 \mu\text{m}$  auf bei einem Abstand zwischen benachbarten Poren 4 von  $a = 2,3 \mu\text{m}$ . In einem zweiten Bereich 7, der unterhalb des ersten Bereiches 6 angeordnet ist, weisen die Poren 4 einen geringeren Durchmesser als  
35 im ersten Bereich 6 von zum Beispiel  $2,0 \mu\text{m}$  auf. In einem



dritten Bereich 8, der unterhalb des zweiten Bereichs 7 angeordnet ist, weisen die Poren 4 einen größeren Durchmesser als im zweiten Bereich 7 auf von zum Beispiel 2,2  $\mu\text{m}$ . Die Poren 4 weisen über ihre Tiefe einen nicht konstanten Durchmesser auf, so daß im zweiten Bereich 7 eine Einschnürung der Poren 4 auftritt.

Diese Einschnürung der Poren 4 bewirkt, daß im zweiten Bereich 7 mehr Silizium vorhanden ist als im ersten Bereich 6 oder im dritten Bereich 8. Der zweite Bereich 7 stellt daher im Vergleich zum ersten Bereich 6 und zum dritten Bereich 8 ein dichteres Medium dar.

Licht einer Wellenlänge  $\lambda$ , die in der photonischen Bandlücke der Gitterstruktur 2 liegt, wird in der Ebene senkrecht zur Hauptfläche 3 dadurch geführt, daß es sich aufgrund der photonischen Bandlücke in der Gitterstruktur 2 nicht ausbreiten kann. In der Richtung senkrecht dazu wird dieses Licht durch Totalreflexion an den Grenzflächen des zweiten Bereichs 7 zum ersten Bereich 6 bzw. dritten Bereich 8 geführt. Der Schnittbereich aus dem Defektbereich 5 und dem zweiten Bereich 7 wirkt als Lichtleiter.

Zur Herstellung der optischen Struktur werden in der Hauptfläche 3 des Trägers 1, der einen spezifischen Widerstand von zum Beispiel 1  $\Omega\text{cm}$  aufweist, Vertiefungen erzeugt, die entsprechend den Poren 4 in einem periodischen Raster angeordnet sind. Im Bereich des Defektbereichs 5 werden keine Vertiefungen erzeugt.

Die Vertiefungen werden zum Beispiel nach Herstellung einer Photolackmaske mit Hilfe konventioneller Photolithographie und anschließender alkalischer Ätzung hergestellt.

Nach Entfernung der Photolackmaske wird die Hauptfläche 3 des Trägers 1 mit einem fluoridhaltigen, sauren Elektrolyten in Kontakt gebracht. Der Elektrolyt weist eine Flußsäurekonzen-





tration von 1 bis 50 Gewichtsprozent, vorzugsweise 3 Gewichtsprozent auf. Dem Elektrolyten kann ein Oxidationsmittel, zum Beispiel Wasserstoffsuperoxid, zugesetzt werden, um die Entwicklung von Wasserstoffbläschen auf der Hauptfläche 3 des Trägers 1 zu unterdrücken.

Der Träger 1 wird als Anode verschaltet. Zwischen dem Träger 1 und dem Elektrolyten wird eine Spannung von 0 bis 20 Volt, vorzugsweise 3 Volt, angelegt. Der Träger 1 wird von einer der Hauptfläche 3 gegenüberliegenden Rückseite her mit Licht beleuchtet, so daß eine Stromdichte von zum Beispiel 18 mA/cm<sup>2</sup> eingestellt wird. Ausgehend von den Vertiefungen werden bei der elektrochemischen Ätzung die Poren 4 erzeugt, die senkrecht zur Hauptfläche 3 verlaufen.

Nach einer Ätzzeit von zum Beispiel 10 Minuten, während der die Stromdichte konstant auf dem ersten Wert von 18 mA/cm<sup>2</sup> eingestellt war, erreichen die Poren eine Tiefe von zum Beispiel 10 µm. Dann wird die Stromdichte auf einen zweiten Wert von zum Beispiel 14 mA/cm<sup>2</sup> reduziert und die elektrochemische Ätzung mit diesem Wert fortgesetzt. Dabei wachsen die Poren 4 mit verringertem Durchmesser weiter. Der zweite Bereich 7 der Poren 4 wird gebildet. Nach einer Ätzzeit von zum Beispiel 5 Minuten weist der zweite Bereich 7 der Poren 4 eine Abmessung senkrecht zur Hauptfläche 3 von zum Beispiel 5 µm auf. Danach wird die Stromdichte auf einen dritten Wert von zum Beispiel 18 mA/cm<sup>2</sup> erhöht und die elektrochemische Ätzung fortgesetzt. Dabei entsteht der dritte Bereich 8 der Poren 4, in dem der Durchmesser der Poren 4 größer als im zweiten Bereich 7 der Poren 4 ist. Nach einer Ätzzeit von zum Beispiel 10 Minuten weist der dritte Bereich 8 eine Ausdehnung senkrecht zur Hauptfläche 3 von zum Beispiel 10 µm auf. Damit ist die optische Struktur fertiggestellt.

In einem Träger 1', der wie der Träger 1 aus n-dotiertem, monokristallinem Silizium besteht, ist eine periodische Gitterstruktur 2' vorgesehen. Die periodische Gitterstruktur 2'



weist eine photonische Bandlücke auf für Licht der Wellenlänge  $\lambda$ . Die Gitterstruktur 2' wird durch in einer Hauptfläche 3' des Trägers 1' gebildete Poren 4' erzeugt (siehe Figur 3 und Figur 4).

5

Die Mittelpunkte der Poren 4' sind in einem periodischen, trigonalen Raster angeordnet. Der Abstand  $a$  benachbarter Mittelpunkte der Poren 4' genügt dabei der Bedingung

10

$a/\lambda = 0,2 \text{ bis } 0,5$ . Wegen dieser Abmessung weist die Gitterstruktur 2' für Licht der Wellenlänge  $\lambda$  eine photonische Bandlücke auf. Dabei ist zum Beispiel  $a = 2,3 \text{ }\mu\text{m}$  und  $\lambda = 5 \text{ }\mu\text{m}$ .

15

In der Gitterstruktur 2' ist ein Defektbereich 5' vorgesehen, in dem das periodische Raster dadurch gestört ist, daß eine Pore 4 fehlt. Licht der Wellenlänge  $\lambda$  kann sich in dem Defektbereich 5 parallel zur Hauptfläche 3' nicht ausbreiten, da die Ausbreitung des Lichtes der Wellenlänge  $\lambda$  wegen der photonischen Bandlücke der umgebenden Gitterstruktur 5' in der Gitterstruktur 2' nicht möglich ist.

20

Die Poren 4' weisen über ihre Tiefe einen nicht konstanten Durchmesser auf. In einem ersten Bereich 6', der an die Hauptfläche 3' angrenzt, weisen die Poren einen Durchmesser von zum Beispiel  $2,2 \text{ }\mu\text{m}$  auf. In einem zweiten Bereich 7', der unterhalb des ersten Bereichs 6' angeordnet ist, weisen die Poren einen kleineren Durchmesser von zum Beispiel  $2,0 \text{ }\mu\text{m}$  auf. In einem dritten Bereich 8', der unterhalb des zweiten Bereichs 7' angeordnet ist, weisen die Poren einen Durchmesser von zum Beispiel  $2,2 \text{ }\mu\text{m}$  auf. In einem vierten Bereich 9', der unterhalb des dritten Bereichs 8' angeordnet ist, weisen die Poren einen kleineren Durchmesser von zum Beispiel  $2,0 \text{ }\mu\text{m}$  auf. In einem fünften Bereich 10', der unterhalb des vierten Bereichs 9' angeordnet ist, weisen die Poren einen Durchmesser von zum Beispiel  $2,2 \text{ }\mu\text{m}$  auf. Die Tiefe des ersten Bereichs 6' beträgt dabei zum Beispiel  $10 \text{ }\mu\text{m}$ , des zweiten Bereichs 7'  $5 \text{ }\mu\text{m}$ , des dritten Bereichs 8'  $20 \text{ }\mu\text{m}$ , des vierten Bereichs 9'  $5 \text{ }\mu\text{m}$  und des fünften Bereichs 10'  $10 \text{ }\mu\text{m}$ .



Der Querschnitt der Poren 4' weist im zweiten Bereich 7' und im vierten Bereich 9' jeweils eine Einschnürung auf. Damit ist sowohl im zweiten Bereich 7' als auch im vierten Bereich 9' mehr Silizium vorhanden als in dem angrenzenden ersten Bereich 6', dritten Bereich 8' bzw. fünften Bereich 10'. Der zweite Bereich 7' und der vierte Bereich 9' stellen daher ein optisch dichteres Medium dar als die jeweils angrenzenden Bereiche 6', 8', 10'.

10

Licht der Wellenlänge  $\lambda$ , das in dem Defektbereich 5' in der Ausdehnung parallel zur Hauptfläche 3' durch die umgebende Gitterstruktur 2' in seiner Ausbreitung behindert ist, wird in der Richtung senkrecht zur Hauptfläche 3' durch Totalreflexion an der Grenzfläche zum optisch dünneren Medium im zweiten Bereich 7' bzw. vierten Bereich 9' gehalten. Der Schnittbereich zwischen dem Defektbereich 5' und dem zweiten Bereich 7' sowie zwischen dem Defektbereich 5' und dem vierten Bereich 9' stellt jeweils eine Kavität dar.

20

Die Herstellung der optischen Struktur, die anhand von Figur 3 und Figur 4 erläutert wurde, erfolgt analog der Herstellung der optischen Struktur, die anhand von Figur 1 und Figur 2 erläutert wurde, durch elektrochemische Ätzung. Zur Bildung des vierten Bereich 9' und des fünften Bereichs 10' der Poren 4' wird dabei die elektrochemische Ätzung weiter fortgesetzt, wobei zur Ätzung des vierten Bereichs 9' die Stromdichte auf den zweiten Wert, der zur Ätzung des zweiten Bereichs 7' verwendet wurde und zur Ätzung des fünften Bereichs 10' die Stromdichte auf den dritten Wert, der zur Ätzung des dritten Bereichs 8 verwendet wurde, eingestellt wird.

Die Erfindung läßt sich analog auf optische Strukturen übertragen, bei denen mehr als zwei Lichtleiter oder Kavitäten übereinander angeordnet sind. Dazu wird die Anzahl der Einschnürungen der Poren entsprechend vergrößert.

35



## Patentansprüche

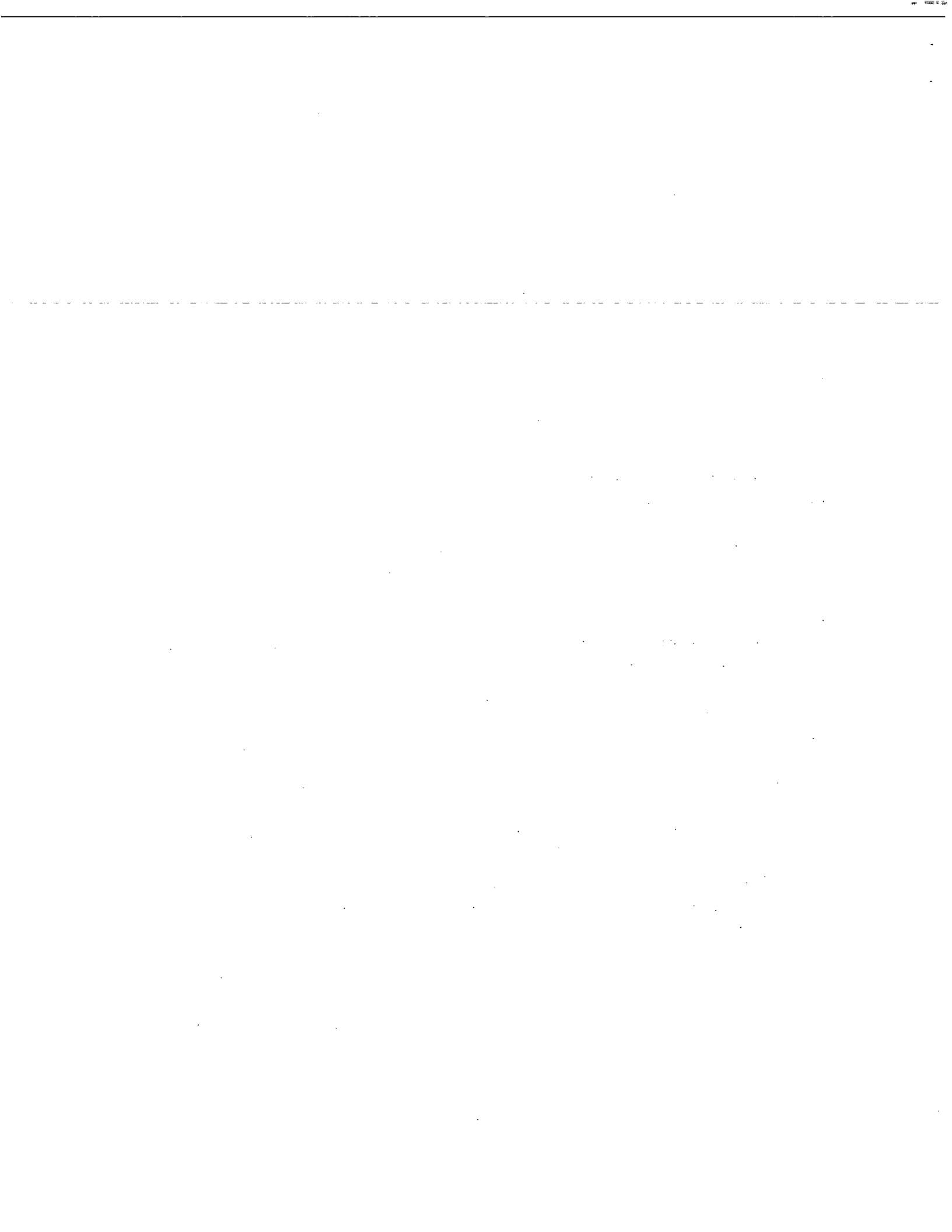
## 1. Optische Struktur,

- 5 - bei der in einem Träger (1) eine Gitterstruktur (2) vorgesehen ist,
- bei der die Gitterstruktur (2) die Eigenschaft hat, daß es mindestens ein Frequenzband gibt, so daß sich Licht mit einer Frequenz aus dem Frequenzband in der Gitterstruktur (2) nicht ausbreiten kann,
- 10 - bei der die Gitterstruktur (2) durch eine Anordnung von im wesentlichen senkrecht zu einer Hauptfläche (3) des Trägers (1) verlaufenden Poren (4) gebildet wird,
- 15 - bei der in der Gitterstruktur (2) ein Defektbereich (5) vorgesehen ist,
- 20 - bei der die Poren (4) außerhalb des Defektbereichs (5) in einem periodischen Raster angeordnet sind und bei der das periodische Raster in dem Defektbereich (5) gestört ist,
- bei der mindestens drei übereinander angeordnete, im wesentlichen parallel zur Hauptfläche (3) ausgerichtete Bereiche (6, 7, 8) vorgesehen sind, wobei der Durchmesser der Poren (4) in einem zweiten Bereich (7) kleiner ist als in einem ersten Bereich (6) und einem dritten Bereich (8) und wobei der zweite Bereich (7) zwischen dem ersten Bereich (6) und dem dritten Bereich (8) angeordnet ist.
- 25
- 30

2. Optische Struktur nach Anspruch 1,  
bei der der Defektbereich (5) die Gitterstruktur (2) im Bereich der Hauptfläche (3) in mindestens zwei Teile unterteilt.

35

3. Optische Struktur nach Anspruch 1 oder 2,





bei der unterhalb des dritten Bereichs (8) mindestens ein weiterer Bereich (9') vorgesehen ist, in dem der Porendurchmesser geringer ist als oberhalb und unterhalb des weiteren Bereichs (9').

5

4. Optische Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der der Träger (1) aus Silizium besteht.

5. Optische Struktur nach Anspruch 4,

10

- bei der der Abstand der Mittelpunkte benachbarter Poren (4) im Bereich zwischen 0,5  $\mu\text{m}$  und 25  $\mu\text{m}$  liegt,

15

- bei der der Durchmesser der Poren im zweiten Bereich im Bereich zwischen 0,4  $\mu\text{m}$  und 23  $\mu\text{m}$  liegt,

20

- bei der der Durchmesser der Poren im ersten Bereich und im dritten Bereich im Bereich zwischen 0,45  $\mu\text{m}$  und 24,5  $\mu\text{m}$  liegt,

- bei der die Ausdehnung des zweiten Bereichs senkrecht zur Hauptfläche (3) zwischen 1  $\mu\text{m}$  und 50  $\mu\text{m}$  liegt.

25

6. Optische Struktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der das Raster trigonal ist.

7. Verfahren zur Herstellung einer optischen Struktur,

30

- bei dem in einer Hauptfläche (3) eines n-dotierten Siliziumsubstrates (1) in einem periodischen Raster angeordnete Vertiefungen erzeugt werden, wobei das Raster einen Defektbereich (5) aufweist, in dem das periodische Raster gestört ist,

35

- bei dem durch eine elektrochemische Ätzung in einem Elektrolyten, mit dem die Hauptfläche (3) in Kontakt steht, gegenüber dem das Siliziumsubstrat (1) als Anode verschaltet



ist und in dem eine den Ätzabtrag beeinflussende Stromdichte eingestellt ist, in dem Siliziumsubstrat (1) ausgehend von den Vertiefungen Poren (4) geätzt werden,

- 5 - bei dem die elektrochemische Ätzung in mindestens drei Ätzschritten erfolgt, wobei in einem ersten Ätzschritt mit einem ersten Wert für die Stromdichte geätzt wird, in einem zweiten Ätzschritt mit einem zweiten Wert für die Stromdichte, der geringer als der erste Wert ist, geätzt wird  
10 und in einem dritten Ätzschritt mit einem dritten Wert für die Stromdichte, der größer als der zweite Wert ist, geätzt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7,  
15 bei dem die Stromdichte durch Beleuchtung einer der Hauptfläche (3) gegenüberliegenden Rückseite des Siliziumsubstrats (1) eingestellt wird.

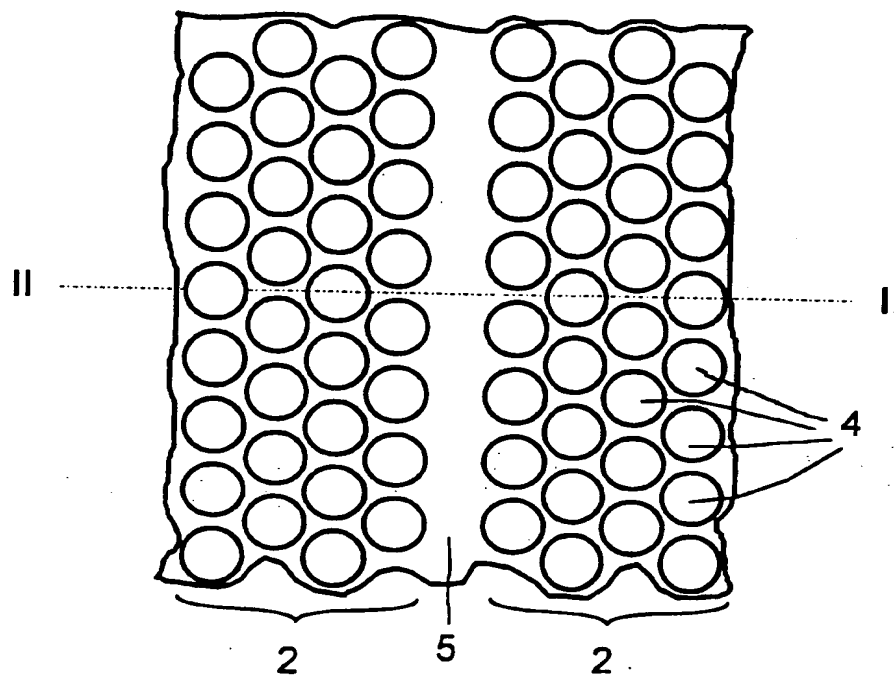
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8,  
20 - bei dem das Siliziumsubstrat (1) <100>-Scheibe ist,  
- bei dem das elektrochemische Ätzen in einem fluoridhaltigen sauren Elektrolyten erfolgt.

- 25 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9,  
bei dem die Vertiefungen in der Hauptfläche (3) durch Herstellung einer Photolackmaske auf der Hauptfläche (3) und anschließende alkalische Ätzung der Hauptfläche (3) erzeugt  
30 werden.



1/4

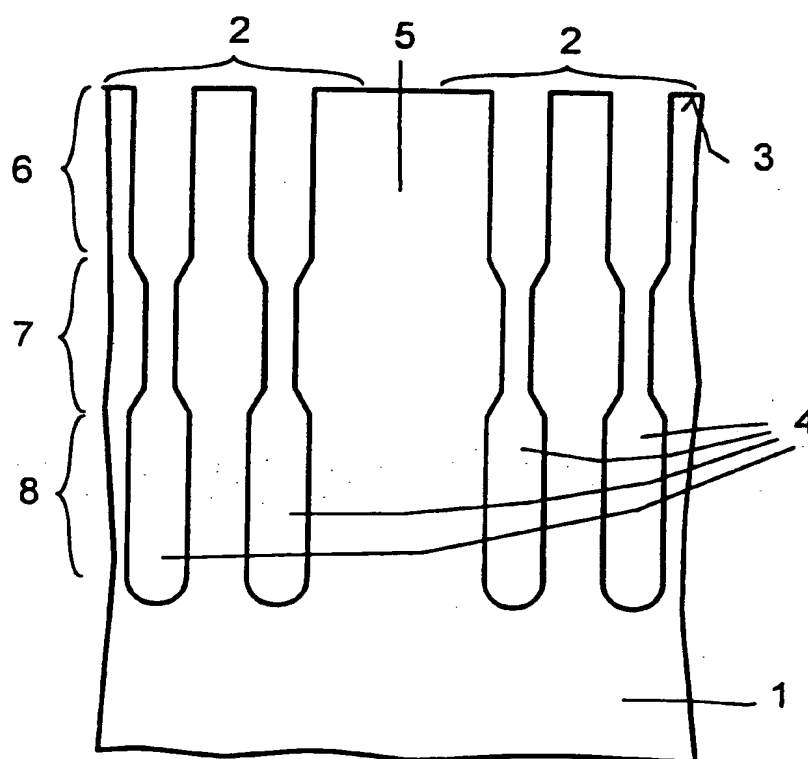
FIG 1





2/4

FIG 2

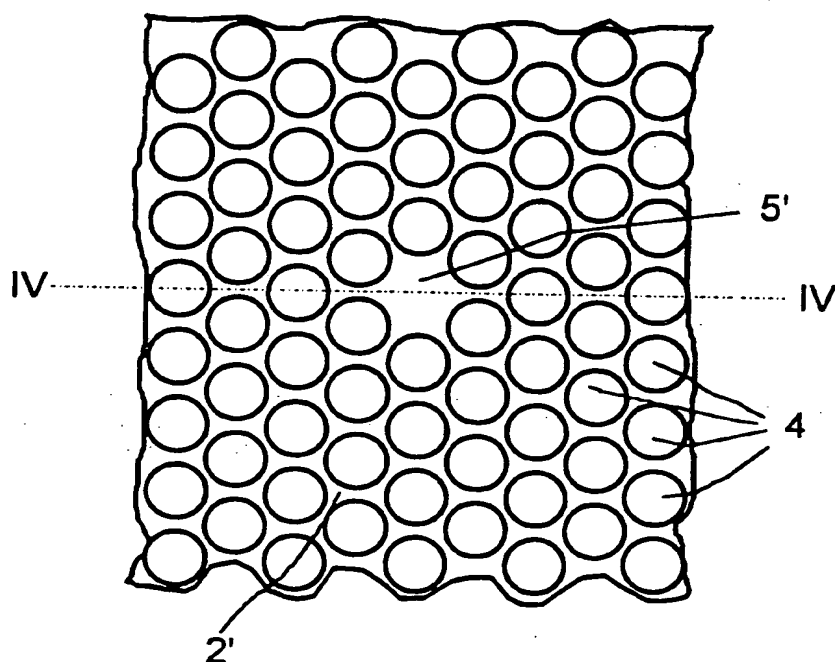


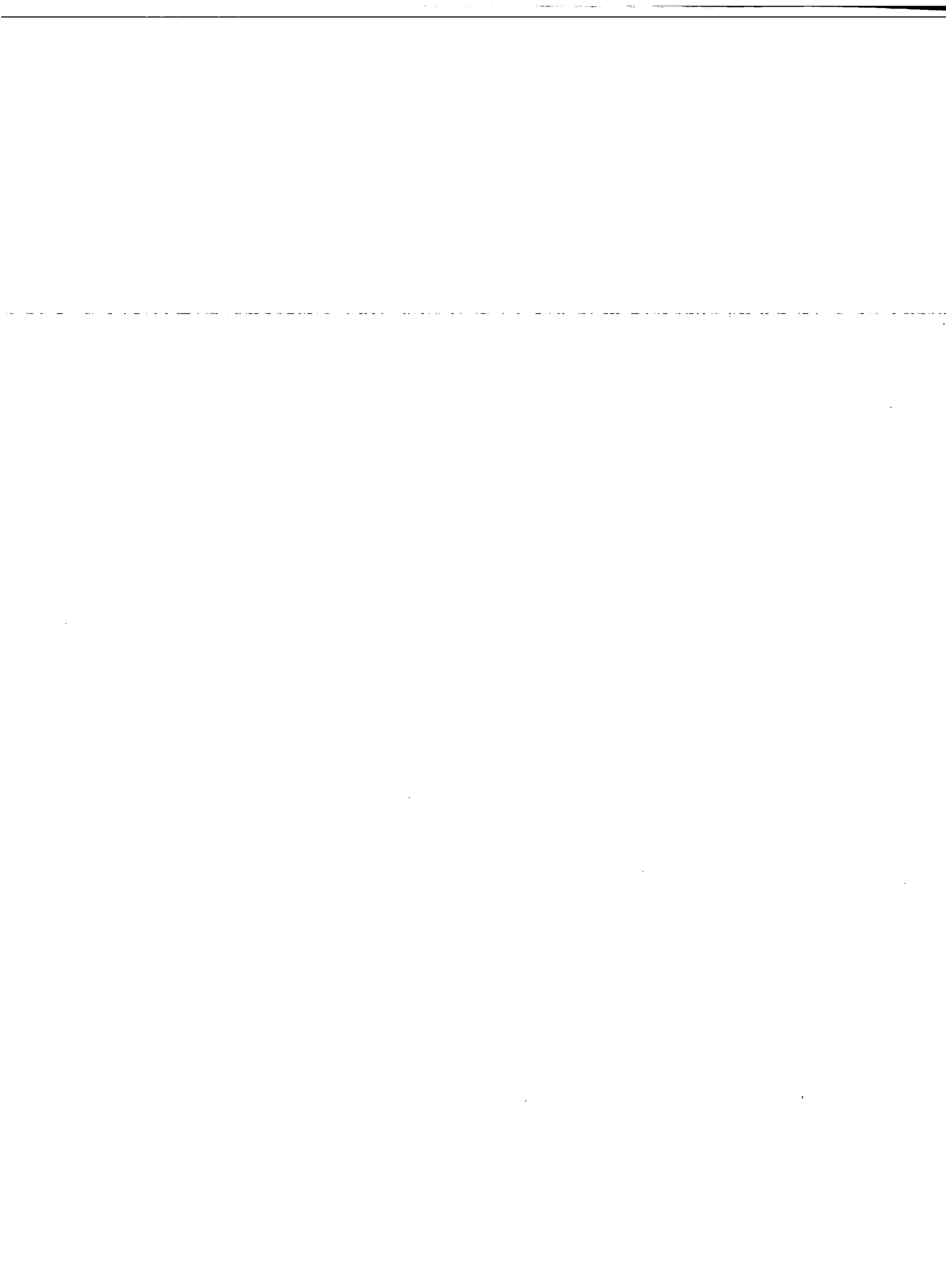




3/4

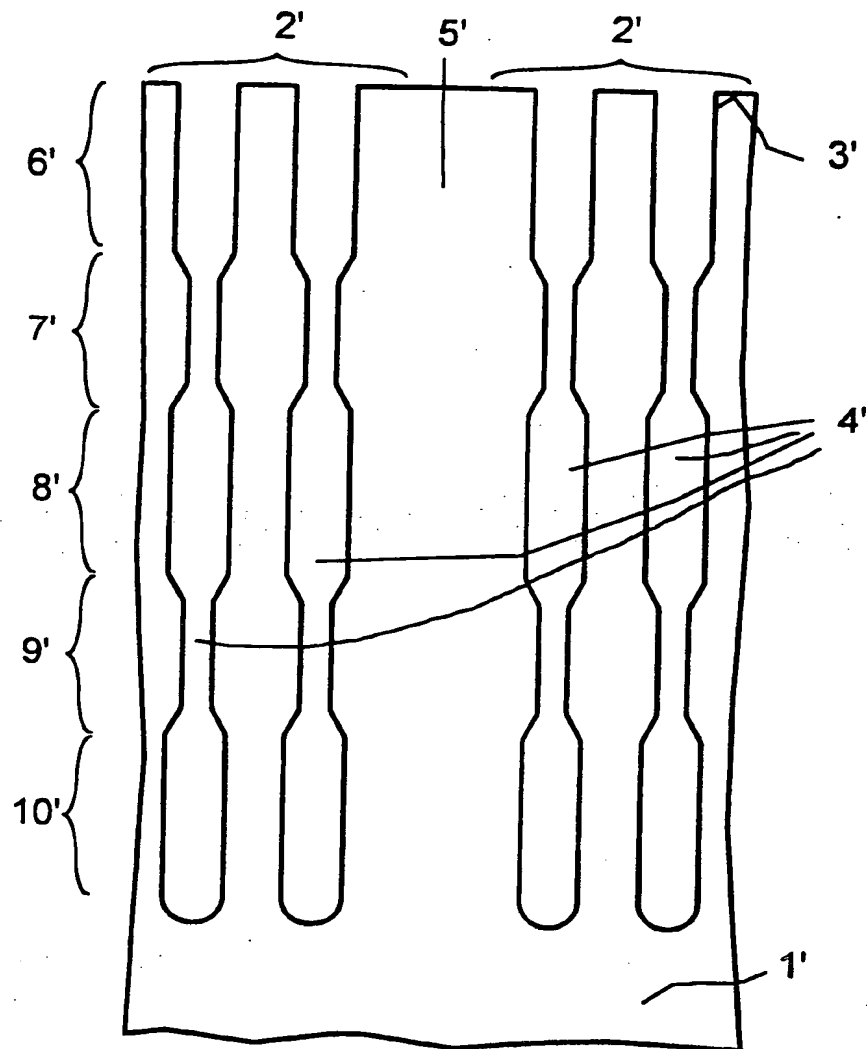
FIG 3





4/4

FIG 4





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int onal Application No

PCT/DE 96/01256

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC 6 G02B6/124 G02B6/136 H01L21/3063 G02B5/18		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC 6 G02B H01L		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 66, no. 24, 12 June 1995, WOODBURY, N.Y., US, pages 3254-3256, XP002017882 U. GRÜNING ET. AL.: "Two-dimensional infrared photonic band gap structure based on porous silicon" cited in the application see the whole document ---	1,6,7
A	C.M. SOUKOULIS: "Photonic band gaps and localization" 1993, PLENUM PRESS, NEW YORK XP002017883 cited in the application see page 207 - page 234 ---	1,6,7
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
7 November 1996		15. 11. 96
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer  Mathyssek, K

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 96/01256

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>APPLIED PHYSICS LETTERS, vol. 64, no. 6, 7 February 1994, pages 687-689, XP000422868 GOURLEY P L ET AL: "OPTICAL PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL PHOTONIC LATTICES FABRICATED AS HONEYCOMB NANOSTRUCTURES IN COMPOUND SEMICONDUCTORS" see the whole document ---</p>	1,6,7
A	<p>US,A,5 187 461 (BROMMER KARL ET AL) 16 February 1993 see page 3, line 25 - line 68 see column 4 - column 5 see column 6, line 1 - line 66 see figures 1-9 ---</p>	1
A	<p>ELECTRONICS LETTERS, vol. 30, no. 17, 18 August 1994, pages 1444-1446, XP000476049 KRAUSS T ET AL: "FABRICATION OF 2-D PHOTONIC BANDGAP STRUCTURES IN GAAS/ALGAAS" see the whole document ---</p>	1,6,7
A	<p>JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 75, no. 9, 1 May 1994, pages 4753-4755, XP000543576 MEADE R D ET AL: "NOVEL APPLICATIONS OF PHOTONIC BAND GAP MATERIALS: LOW-LOSS BENDS AND HIGH Q CAVITIES" cited in the application see the whole document ---</p>	1,6
X	<p>US,A,5 403 752 (R.BRUCHHAUS ET.AL.) 4 April 1995 see figures 1-3 see column 1, line 45 - line 68 see column 2, line 1 - line 68 see column 3, line 1 - line 65 see column 4, line 15 - line 68 see column 5, line 1 - line 68 see column 6, line 1 - line 68 ---</p>	7-10
X	<p>US,A,5 262 021 (V.LEHMANN ET.AL.) 16 November 1993 see the whole document -----</p>	7-10

1  
2

3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43  
44  
45  
46  
47  
48  
49  
50  
51  
52  
53  
54  
55  
56  
57  
58  
59  
60  
61  
62  
63  
64  
65  
66  
67  
68  
69  
70  
71  
72  
73  
74  
75  
76  
77  
78  
79  
80  
81  
82  
83  
84  
85  
86  
87  
88  
89  
90  
91  
92  
93  
94  
95  
96  
97  
98  
99  
100  
101  
102  
103  
104  
105  
106  
107  
108  
109  
110  
111  
112  
113  
114  
115  
116  
117  
118  
119  
120  
121  
122  
123  
124  
125  
126  
127  
128  
129  
130  
131  
132  
133  
134  
135  
136  
137  
138  
139  
140  
141  
142  
143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152  
153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163  
164  
165  
166  
167  
168  
169  
170  
171  
172  
173  
174  
175  
176  
177  
178  
179  
180  
181  
182  
183  
184  
185  
186  
187  
188  
189  
190  
191  
192  
193  
194  
195  
196  
197  
198  
199  
200  
201  
202  
203  
204  
205  
206  
207  
208  
209  
210  
211  
212  
213  
214  
215  
216  
217  
218  
219  
220  
221  
222  
223  
224  
225  
226  
227  
228  
229  
230  
231  
232  
233  
234  
235  
236  
237  
238  
239  
240  
241  
242  
243  
244  
245  
246  
247  
248  
249  
250  
251  
252  
253  
254  
255  
256  
257  
258  
259  
260  
261  
262  
263  
264  
265  
266  
267  
268  
269  
270  
271  
272  
273  
274  
275  
276  
277  
278  
279  
280  
281  
282  
283  
284  
285  
286  
287  
288  
289  
290  
291  
292  
293  
294  
295  
296  
297  
298  
299  
300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312  
313  
314  
315  
316  
317  
318  
319  
320  
321  
322  
323  
324  
325  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337  
338  
339  
340  
341  
342  
343  
344  
345  
346  
347  
348  
349  
350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358  
359  
360  
361  
362  
363  
364  
365  
366  
367  
368  
369  
370  
371  
372  
373  
374  
375  
376  
377  
378  
379  
380  
381  
382  
383  
384  
385  
386  
387  
388  
389  
390  
391  
392  
393  
394  
395  
396  
397  
398  
399  
400  
401  
402  
403  
404  
405  
406  
407  
408  
409  
410  
411  
412  
413  
414  
415  
416  
417  
418  
419  
420  
421  
422  
423  
424  
425  
426  
427  
428  
429  
430  
431  
432  
433  
434  
435  
436  
437  
438  
439  
440  
441  
442  
443  
444  
445  
446  
447  
448  
449  
450  
451  
452  
453  
454  
455  
456  
457  
458  
459  
460  
461  
462  
463  
464  
465  
466  
467  
468  
469  
470  
471  
472  
473  
474  
475  
476  
477  
478  
479  
480  
481  
482  
483  
484  
485  
486  
487  
488  
489  
490  
491  
492  
493  
494  
495  
496  
497  
498  
499  
500  
501  
502  
503  
504  
505  
506  
507  
508  
509  
510  
511  
512  
513  
514  
515  
516  
517  
518  
519  
520  
521  
522  
523  
524  
525  
526  
527  
528  
529  
530  
531  
532  
533  
534  
535  
536  
537  
538  
539  
540  
541  
542  
543  
544  
545  
546  
547  
548  
549  
550  
551  
552  
553  
554  
555  
556  
557  
558  
559  
560  
561  
562  
563  
564  
565  
566  
567  
568  
569  
570  
571  
572  
573  
574  
575  
576  
577  
578  
579  
580  
581  
582  
583  
584  
585  
586  
587  
588  
589  
590  
591  
592  
593  
594  
595  
596  
597  
598  
599  
600  
601  
602  
603  
604  
605  
606  
607  
608  
609  
610  
611  
612  
613  
614  
615  
616  
617  
618  
619  
620  
621  
622  
623  
624  
625  
626  
627  
628  
629  
630  
631  
632  
633  
634  
635  
636  
637  
638  
639  
640  
641  
642  
643  
644  
645  
646  
647  
648  
649  
650  
651  
652  
653  
654  
655  
656  
657  
658  
659  
660  
661  
662  
663  
664  
665  
666  
667  
668  
669  
670  
671  
672  
673  
674  
675  
676  
677  
678  
679  
680  
681  
682  
683  
684  
685  
686  
687  
688  
689  
690  
691  
692  
693  
694  
695  
696  
697  
698  
699  
700  
701  
702  
703  
704  
705  
706  
707  
708  
709  
710  
711  
712  
713  
714  
715  
716  
717  
718  
719  
720  
721  
722  
723  
724  
725  
726  
727  
728  
729  
730  
731  
732  
733  
734  
735  
736  
737  
738  
739  
740  
741  
742  
743  
744  
745  
746  
747  
748  
749  
750  
751  
752  
753  
754  
755  
756  
757  
758  
759  
760  
761  
762  
763  
764  
765  
766  
767  
768  
769  
770  
771  
772  
773  
774  
775  
776  
777  
778  
779  
780  
781  
782  
783  
784  
785  
786  
787  
788  
789  
790  
791  
792  
793  
794  
795  
796  
797  
798  
799  
800  
801  
802  
803  
804  
805  
806  
807  
808  
809  
810  
811  
812  
813  
814  
815  
816  
817  
818  
819  
820  
821  
822  
823  
824  
825  
826  
827  
828  
829  
830  
831  
832  
833  
834  
835  
836  
837  
838  
839  
840  
841  
842  
843  
844  
845  
846  
847  
848  
849  
850  
851  
852  
853  
854  
855  
856  
857  
858  
859  
860  
861  
862  
863  
864  
865  
866  
867  
868  
869  
870  
871  
872  
873  
874  
875  
876  
877  
878  
879  
880  
881  
882  
883  
884  
885  
886  
887  
888  
889  
890  
891  
892  
893  
894  
895  
896  
897  
898  
899  
900  
901  
902  
903  
904  
905  
906  
907  
908  
909  
910  
911  
912  
913  
914  
915  
916  
917  
918  
919  
920  
921  
922  
923  
924  
925  
926  
927  
928  
929  
930  
931  
932  
933  
934  
935  
936  
937  
938  
939  
940  
941  
942  
943  
944  
945  
946  
947  
948  
949  
950  
951  
952  
953  
954  
955  
956  
957  
958  
959  
960  
961  
962  
963  
964  
965  
966  
967  
968  
969  
970  
971  
972  
973  
974  
975  
976  
977  
978  
979  
980  
981  
982  
983  
984  
985  
986  
987  
988  
989  
990  
991  
992  
993  
994  
995  
996  
997  
998  
999  
1000  
1001  
1002  
1003  
1004  
1005  
1006  
1007  
1008  
1009  
1010  
1011  
1012  
1013  
1014  
1015  
1016  
1017  
1018  
1019  
1020  
1021  
1022  
1023  
1024  
1025  
1026  
1027  
1028  
1029  
1030  
1031  
1032  
1033  
1034  
1035  
1036  
1037  
1038  
1039  
1040  
1041  
1042  
1043  
1044  
1045  
1046  
1047  
1048  
1049  
1050  
1051  
1052  
1053  
1054  
1055  
1056  
1057  
1058  
1059  
1060  
1061  
1062  
1063  
1064  
1065  
1066  
1067  
1068  
1069  
1070  
1071  
1072  
1073  
1074  
1075  
1076  
1077  
1078  
1079  
1080  
1081  
1082  
1083  
1084  
1085  
1086  
1087  
1088  
1089  
1090  
1091  
1092  
1093  
1094  
1095  
1096  
1097  
1098  
1099  
1100  
1101  
1102  
1103  
1104  
1105  
1106  
1107  
1108  
1109  
1110  
1111  
1112  
1113  
1114  
1115  
1116  
1117  
1118  
1119  
1120  
1121  
1122  
1123  
1124  
1125  
1126  
1127  
1128  
1129  
1130  
1131  
1132  
1133  
1134  
1135  
1136  
1137  
1138  
1139  
1140  
1141  
1142  
1143  
1144  
1145  
1146  
1147  
1148  
1149  
1150  
1151  
1152  
1153  
1154  
1155  
1156  
1157  
1158  
1159  
1160  
1161  
1162  
1163  
1164  
1165  
1166  
1167  
1168  
1169  
1170  
1171  
1172  
1173  
1174  
1175  
1176  
1177  
1178  
1179  
1180  
1181  
1182  
1183  
1184  
1185  
1186  
1187  
1188  
1189  
1190  
1191  
1192  
1193  
1194  
1195  
1196  
1197  
1198  
1199  
1200  
1201  
1202  
1203  
1204  
1205  
1206  
1207  
1208  
1209  
1210  
1211  
1212  
1213  
1214  
1215  
1216  
1217  
1218  
1219  
1220  
1221  
1222  
1223  
1224  
1225  
1226  
1227  
1228  
1229  
1230  
1231  
1232  
1233  
1234  
1235  
1236  
1237  
1238  
1239  
1240  
1241  
1242  
1243  
1244  
1245  
1246  
1247  
1248  
1249  
1250  
1251  
1252  
1253  
1254  
1255  
1256  
1257  
1258  
1259  
1260  
1261  
1262  
1263  
1264  
1265  
1266  
1267  
1268  
1269  
1270  
1271  
1272  
1273  
1274  
1275  
1276  
1277  
1278  
1279  
1280  
1281  
1282  
1283  
1284  
1285  
1286  
1287  
1288  
1289  
1290  
1291  
1292  
1293  
1294  
1295  
1296  
1297  
1298  
1299  
1300  
1301  
1302  
1303  
1304  
1305  
1306  
1307  
1308  
1309  
1310  
1311  
1312  
1313  
1314  
1315  
1316  
1317  
1318  
1319  
1320  
1321  
1322  
1323  
1324  
1325  
1326  
1327  
1328  
1329  
1330  
1331  
1332  
1333  
1334  
1335  
1336  
1337  
1338  
1339  
1340  
1341  
1342  
1343  
1344  
1345  
1346  
1347  
1348  
1349  
1350  
1351  
1352  
1353  
1354  
1355  
1356  
1357  
1358  
1359  
1360  
1361  
1362  
1363  
1364  
1365  
1366  
1367  
1368  
1369  
1370  
1371  
1372  
1373  
1374  
1375  
1376  
1377  
1378  
1379  
1380  
1381  
1382  
1383  
1384  
1385  
1386  
1387  
1388  
1389  
1390  
1391  
1392  
1393  
1394  
1395  
1396  
1397  
1398  
1399  
1400  
1401  
1402  
1403  
1404  
1405  
1406  
1407  
1408  
1409  
1410  
1411  
1412  
1413  
1414  
1415  
1416  
1417  
1418  
1419  
1420  
1421  
1422  
1423  
1424  
1425  
1426  
1427  
1428  
1429  
1430  
1431  
1432  
1433  
1434  
1435  
1436  
1437  
1438  
1439  
1440  
1441  
1442  
1443  
1444  
1445  
1446  
1447  
1448  
1449  
1450  
1451  
1452  
1453  
1454  
1455  
1456  
1457  
1458  
1459  
1460  
1461  
1462  
1463  
1464  
1465  
1466  
1467  
1468  
1469  
1470  
1471  
1472  
1473  
1474  
1475  
1476  
1477  
1478  
1479  
1480  
1481  
1482  
1483  
1484  
1485  
1486  
1487  
1488  
1489  
1490  
1491  
1492  
1493  
1494  
1495  
1496  
1497  
1498  
1499  
1500  
1501  
1502  
1503  
1504  
1505  
1506  
1507  
1508  
1509  
1510  
1511  
1512  
1513  
1514  
1515  
1516  
1517  
1518  
1519  
1520  
1521  
1522  
1523  
1524  
1525  
1526  
1527  
1528  
1529  
1530  
1531  
1532  
1533  
1534  
1535  
1536  
1537  
1538  
1539  
1540  
1541  
1542  
1543  
1544  
1545  
1546  
1547  
1548  
1549  
1550  
1551  
1552  
1553  
1554  
1555  
1556  
1557  
1558  
1559  
1560  
1561  
1562  
1563  
1564  
1565  
1566  
1567  
1568  
1569  
1570  
1571  
1572  
1573  
1574  
1575  
1576  
1577  
1578  
1579  
1580  
1581  
1582  
1583  
1584  
1585  
1586  
1587  
1588  
1589  
1590  
1591  
1592  
1593  
1594  
1595  
1596  
1597  
1598  
1599  
1600  
1601  
1602  
1603  
1604  
1605  
1606  
1607  
1608  
1609  
1610  
1611  
1612  
1613  
1614  
1615  
1616  
1617  
1618  
1619  
1620  
1621  
1622  
1623  
1624  
1625  
1626  
1627  
1628  
1629  
1630  
1631  
1632  
1633  
1634  
1635  
1636  
1637  
1638  
1639  
1640  
1641  
1642  
1643  
1644  
1645  
1646  
1647  
1648  
1649  
1650  
1651  
1652  
1653  
1654  
1655  
1656  
1657  
1658  
1659  
1660  
1661  
1662  
1663  
1664  
1665  
1666  
1667  
1668  
1669  
1670  
1671  
1672  
1673  
1674  
1675  
1676  
1677  
1678  
1679  
1680  
1681  
1682  
1683  
1684  
1685  
1686  
1687  
1688  
1689  
1690  
1691  
1692  
1693  
1694  
1695  
1696  
1697  
1698  
1699  
1700  
1701  
1702  
1703  
1704  
1705  
1706  
1707  
1708  
1709  
1710  
1711  
1712  
1713  
1714  
1715  
1716  
1717  
1718  
1719  
1720  
1721  
1722  
1723  
1724  
1725  
1726  
1727  
1728  
1729  
1730  
1731  
1732  
1733  
1734  
1735  
1736  
1737  
1738  
1739  
1740  
1741  
1742  
1743  
1744  
1745  
1746  
1747  
1748  
1749  
1750  
1751  
1752  
1753  
1754  
1755  
1756  
1757  
1758  
1759  
1760  
1761  
1762  
1763  
1764  
1765  
1766  
1767  
1768  
1769  
1770  
1771  
1772  
1773  
1774  
1775  
1776  
1777  
1778  
1779  
1780  
1781  
1782  
1783  
1784  
1785  
1786  
1787  
1788  
1789  
1790  
1791  
1792  
1793  
1794  
1795  
1796  
1797  
1798  
1799  
1800  
1801  
1802  
1803  
1804  
1805  
1806  
1807  
1808  
1809  
1810  
1811  
1812  
1813  
1814  
1815  
1816  
1817  
1818  
1819  
1820  
1821  
1822  
1823  
1824  
1825  
1826  
1827  
1828  
1829  
1830  
1831  
1832  
1833  
1834  
1835  
1836  
1837  
1838  
1839  
1840  
1841  
1842  
1843  
1844  
1845  
1846  
1847  
1848  
1849  
1850  
1851  
1852  
1853  
1854  
1855  
1856  
1857  
1858  
1859  
1860  
1861  
1862  
1863  
1864  
1865  
1866  
1867  
1868  
1869  
1870  
1871  
1872  
1873  
1874  
1875  
1876  
1877  
1878  
1879  
1880  
1881  
1882  
1883  
1884  
1885  
1886  
1887  
1888  
1889  
1890  
1891  
1892  
1893  
1894  
1895  
1896  
1897  
1898  
1899  
1900  
1901  
1902  
1903  
1904  
1905  
1906  
1907  
1908  
1909  
1910  
1911  
1912  
1913  
1914  
1915  
1916  
1917  
1918  
1919  
1920  
1921  
1922  
1923  
1924  
1925  
1926  
1927  
1928  
1929  
1930  
1931  
1932  
1933  
1934  
1935  
1936  
1937  
1938  
1939  
1940  
1941  
1942  
1943  
1944  
1945  
1946  
1947  
1948  
1949  
1950  
1951  
1952  
1953  
1954  
1955  
1956  
1957  
1958  
1959  
1960  
1961  
1962  
1963  
1964  
1965  
1966  
1967  
1968  
1969  
1970  
1971  
1972  
1973  
1974  
1975  
1976  
1977  
1978  
1979  
1980  
1981  
1982  
1983  
1984  
1985  
1986  
1987  
1988  
1989  
1990  
1991  
1992  
1993  
1994  
1995  
1996  
1997  
1998  
1999  
2000  
2001  
2002  
2003  
2004  
2005  
2006  
2007  
2008  
2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
2028  
2029  
2030  
2031  
2032  
2033  
2034  
2035  
2036  
2037  
2038  
2039  
2040  
2041  
2042  
2043  
2044  
2045  
2046  
2047  
2048  
2049  
2050  
2051  
2052  
2053  
2054  
2055  
2056  
2057  
2058  
2059  
2060  
2061  
2062  
2063  
2064  
2065  
2066  
2067  
2068  
2069  
2070  
2071  
2072  
2073  
2074  
2075  
2076  
2077  
2078  
2079  
2080  
2081  
2082  
2083  
2084  
2085  
2086  
2087  
2088  
2089  
2090  
2091  
2092  
2093  
2094  
2095  
2096  
2097  
2098  
2099  
2100  
2101  
2102  
2103  
2104  
2105  
2106  
2107  
2108  
2109  
2110  
2111  
2112  
2113  
2114  
2115  
2116  
2117  
2118  
2119  
2120  
2121  
2122  
2123  
2124  
2125  
2126  
2127  
2128  
2129  
2130  
2131  
2132  
2133  
2134  
2135  
2136  
2137  
2138  
2139  
2140  
2141  
2142  
2143  
2144  
2145  
2146  
2147  
2148  
2149  
2150  
2151  
2152  
2153  
2154  
2155  
2156  
2157  
2158  
2159  
2160  
2161  
2162  
2163  
2164  
2165  
2166  
2167  
2168  
2169  
2170  
2171  
2172  
2173  
2174  
2175  
2176  
2177  
2178  
2179  
2180  
2181  
2182  
2183  
2184  
2185  
2186  
2187  
2



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE 96/01256

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5187461	16-02-93	AU-A- 1435192	15-09-92
		WO-A- 9215124	03-09-92
		US-A- 5471180	28-11-95
		US-A- 5389943	14-02-95
-----			
US-A-5403752	04-04-95	EP-A- 0630058	21-12-94
		JP-A- 6331452	02-12-94
-----			
US-A-5262021	16-11-93	DE-C- 4202454	29-07-93
		DE-D- 59202728	03-08-95
		EP-A- 0553465	04-08-93
		JP-A- 5315316	26-11-93
-----			



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In: ionales Aktenzeichen  
PCT/DE 96/01256

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 6 G02B6/124 G02B6/136 H01L21/3063 G02B5/18		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 G02B H01L		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 66, Nr. 24, 12.Juni 1995, WOODBURY, N.Y., US, Seiten 3254-3256, XP002017882 U.GRÜNING ET.AL.: "Two-dimensional infrared photonic band gap structure based on porous silicon" in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument	1,6,7
A	C.M.SOUKOULIS: "Photonic band gaps and localization" 1993, PLENUM PRESS, NEW YORK XP002017883 in der Anmeldung erwähnt siehe Seite 207 - Seite 234	1,6,7
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : * A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist * E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist * L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) * O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht * P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist * T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist * X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden * Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist * &* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche  7. November 1996		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts  15. 11. 96
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Td. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+ 31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Mathyssek, K



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 96/01256

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	APPLIED PHYSICS LETTERS, Bd. 64, Nr. 6, 7.Februar 1994, Seiten 687-689, XP000422868 GOURLEY P L ET AL: "OPTICAL PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL PHOTONIC LATTICES FABRICATED AS HONEYCOMB NANOSTRUCTURES IN COMPOUND SEMICONDUCTORS" siehe das ganze Dokument ---	1,6,7
A	US,A,5 187 461 (BROMMER KARL ET AL) 16.Februar 1993 siehe Seite 3, Zeile 25 - Zeile 68 siehe Spalte 4 - Spalte 5 siehe Spalte 6, Zeile 1 - Zeile 66 siehe Abbildungen 1-9 ---	1
A	ELECTRONICS LETTERS, Bd. 30, Nr. 17, 18.August 1994, Seiten 1444-1446, XP000476049 KRAUSS T ET AL: "FABRICATION OF 2-D PHOTONIC BANDGAP STRUCTURES IN GAAS/ALGAAS" siehe das ganze Dokument ---	1,6,7
A	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Bd. 75, Nr. 9, 1.Mai 1994, Seiten 4753-4755, XP000543576 MEADE R D ET AL: "NOVEL APPLICATIONS OF PHOTONIC BAND GAP MATERIALS: LOW-LOSS BENDS AND HIGH Q CAVITIES" in der Anmeldung erwähnt siehe das ganze Dokument ---	1,6
X	US,A,5 403 752 (R.BRUCHHAUS ET.AL.) 4.April 1995 siehe Abbildungen 1-3 siehe Spalte 1, Zeile 45 - Zeile 68 siehe Spalte 2, Zeile 1 - Zeile 68 siehe Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 65 siehe Spalte 4, Zeile 15 - Zeile 68 siehe Spalte 5, Zeile 1 - Zeile 68 siehe Spalte 6, Zeile 1 - Zeile 68 ---	7-10
X	US,A,5 262 021 (V.LEHMANN ET.AL.) 16.November 1993 siehe das ganze Dokument -----	7-10



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In ionales Aktenzeichen  
PCT/DE 96/01256

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A-5187461	16-02-93	AU-A- 1435192	15-09-92
		WO-A- 9215124	03-09-92
		US-A- 5471180	28-11-95
		US-A- 5389943	14-02-95
-----			
US-A-5403752	04-04-95	EP-A- 0630058	21-12-94
		JP-A- 6331452	02-12-94
-----			
US-A-5262021	16-11-93	DE-C- 4202454	29-07-93
		DE-D- 59202728	03-08-95
		EP-A- 0553465	04-08-93
		JP-A- 5315316	26-11-93
-----			







(51) 国際特許分類 H01L 21/3063, 29/84	A1	(11) 国際公開番号 WO00/42641
		(43) 国際公開日 2000年7月20日(20.07.00)
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP99/00079</p> <p>(22) 国際出願日 1999年1月13日(13.01.99)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 大路 浩(OHJI, Hiroshi)[JP/JP] 堤 和彦(TSUTSUMI, Kazuhiko)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo, (JP) フレンチ、パトリック・ジェイ (FRENCH, Patrick J.)(IE/NL) 2625 カーエス、デルフト、クートラーン40番 Delft, (NL)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 青山 葆, 外(AOYAMA, Tamotsu et al.) 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 JP, KR, US, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>
<p>(54)Title: METHOD OF PRODUCING SILICON DEVICE</p> <p>(54)発明の名称 シリコンデバイスの製造方法</p> <div data-bbox="289 1291 1347 1596"> </div> <p>(57) Abstract</p> <p>A method of producing a silicon device of a single crystalline structure comprising forming an etching start pattern (4) on the surface of a silicon substrate (1), forming etched portions (4') of a narrow width extending in the direction of the depth of the substrate from the etching start pattern (4) by applying a voltage to the silicon substrate (1) in such a manner that the silicon substrate (1) serves as a positive electrode while immersing the silicon substrate (1) in a solution (10) containing fluorine ions, and forming a hollow structure (5) which is constituted of part of the silicon substrate (1) and forming a hollow portion (6) under the hollow structure (5) by promoting the etching of the silicon substrate (1) by increasing the current density in the silicon substrate (1) after the narrow etched portions (4') have reached a predetermined depth, so as to allow the neighboring etched portions to communicate with each other under the narrow etched portions (4').</p>		



シリコン基板（１）の表面にエッチング開始パターン（４）を形成する工程と、シリコン基板（１）をフッ素イオンを含む溶液（１０）に浸漬しつつ該シリコン基板（１）にこれが陽極となるように電圧を印加することによりシリコン基板（１）にエッチングを施し、エッチング開始パターン（４）から基板深さ方向に延びる幅の狭いエッチング部（４'）を形成する工程と、幅の狭いエッチング部（４'）が所定の深さに到達した後、シリコン基板（１）の電流密度を増加させることによりシリコン基板（１）のエッチングを促進して、幅の狭いエッチング部（４'）の下方で隣り合うエッチング部同士を連通させ、シリコン基板（１）の一部からなる中空構造体（５）を形成するとともに、中空構造体（５）の下方に中空部（６）を形成する工程とを含んでいる、単結晶構造のシリコンデバイスの製造方法である。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE アラブ首長国連邦	DM ドミニカ	KZ カザフスタン	RU ロシア
AG アンティグア・バーブーダ	DZ アルジェリア	LC セントルシア	SD スーダン
AL アルバニア	EE エストニア	LI リヒテンシュタイン	SE スウェーデン
AM アルメニア	ES スペイン	LK スリ・ランカ	SG シンガポール
AT オーストリア	FI フィンランド	LR リベリア	SI スロヴェニア
AU オーストラリア	FR フランス	LS レソト	SK スロヴァキア
AZ アゼルバイジャン	GA ガボン	LT リトアニア	SL シェラ・レオネ
BA ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB 英国	LU ルクセンブルグ	SN セネガル
BB バルバドス	GD グレナダ	LV ラトヴィア	SZ スワジランド
BE ベルギー	GE グルジア	MA モロッコ	TD チャード
BF ブルキナ・ファソ	GH ガーナ	MC モナコ	TG トーゴ
BG ブルガリア	GM ガンビア	MD モルドヴァ	TJ タジキスタン
BJ ベナン	GN キニア	MG マダガスカル	TM トルクメニスタン
BR ブラジル	GR ギリシャ	MK マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR トルコ
BY ベラルーシ	GW キニア・ビサオ		TT トリニダード・トバゴ
CA カナダ	HR クロアチア	ML マリ	TZ タンザニア
CF 中央アフリカ	HU ハンガリー	MR モンゴル	UA ウクライナ
CG コンゴ	ID インドネシア	MR モリタニア	UG ウガンダ
CH スイス	IE アイルランド	MW マラウイ	US 米国
CI コートジボアール	IL イスラエル	MX メキシコ	UZ ウズベキスタン
CM カメルーン	IN インド	MZ モザンビーク	VN ヴェトナム
CN 中国	IS アイスランド	NE ニジェール	YU ユーゴスラヴィア
CR コスタ・リカ	IT イタリア	NL オランダ	ZA 南アフリカ共和国
CU キューバ	JP 日本	NO ノールウェー	ZW ジンバブエ
CY キプロス	KE ケニア	NZ ニュー・ジーランド	
CZ チェッコ	KG キルギスタン	PL ポーランド	
DE ドイツ	KP 北朝鮮	PT ポルトガル	
DK デンマーク	KR 韓国	RO ルーマニア	

## 明 細 書

## シリコンデバイスの製造方法

## 5 技術分野

本発明は、加速度ないしは角速度等によって惹起される慣性力、圧力、その他の種々の物理量の計測に用いられる各種センサ、あるいは流体等が流れる通路がシリコン基板内に設けられた流体デバイスなどといった、シリコン基板を加工することによって製造されるシリコンデバイスの製造方法に関するものである。

10

## 背景技術

シリコン基板上に作製された片持ち梁や中空構造の質量体、あるいはシリコン基板内に作製された中空構造等は、従来より各種物理量を測定するセンサや、マイクロポンプなどに広く用いられている。

15

図15A～図15Fは、可動部を有するデバイスをシリコン基板上に作製する場合の従来の製造工程図である。この製造工程においては、まず図15Aに示すように、平板状のシリコン基板32を準備する。次に、図15Bに示すように、シリコン基板32の上に、犠牲層となる第1酸化膜33をCVD等により形成し、続いてその上にシードレイヤーとなる第1ポリシリコン膜34を低圧CVD等により成膜する。この後、図15Cに示すように、第1ポリシリコン膜34の上に、構造体となる第2ポリシリコン膜35をエピタキシャル反応炉を用いて形成する。そして、所望の厚みの第2ポリシリコン35膜が得られた後、図15Dに示すように、第2ポリシリコン膜35の上に、CVD等により第2酸化膜36を最表層として形成し、この後所望の構造体の形状が得られるように第2酸化膜36に対してパターニングを施す。このパターニングが施された第2酸化膜36は、その下の構造体となる第1及び第2の両ポリシリコン膜34、35をエッチングするためのマスクとなる。次に、図15Eに示すように、第1ポリシリコン膜34及び第2ポリシリコン膜35に対して、反応性イオンエッチング等により第1酸化膜33に到達するまでエッチングを施す。さらに、図15Fに示すように、フッ

20

25

酸等を用いて第1ポリシリコン膜34の下側に位置する第1酸化膜33の一部を除去する。これにより、実質的に第1ポリシリコン膜34及び第2ポリシリコン膜35により形成された可動部が得られる。

図16A～図16Eは、例えば、1995年6月にストックホルムで開催された「ソリッドステート式のセンサー及びアクチュエータ並びにユーロセンサーIX  
5 についての第8回国際会議」の会誌の52～55頁（“The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, and Eurosensors IX”, Stockholm, June (1995), page 52-55）に開示されている、従来の可動部を有する構造体の製造工程図である。この構造体の製造工程においては、まず図16  
10 Aに示すように、シリコン基板39の上に、順に、第1酸化膜38とフォトレジスト膜37とを形成する。次に、図16Bに示すように、写真製版を用いて第1酸化膜38をパターニングし、酸化膜マスクを形成する。そして、図16Cに示すように、この酸化膜マスクを用いて、例えば反応性イオンエッチングによりシリコン基板39をエッチングして溝ないしは穴を形成する。引き続き、図16D  
15 に示すように、溝ないしは穴の側面を保護するために、例えばCVD等により第2酸化膜40を形成した上で、該第2酸化膜40の溝ないしは穴の底面に形成された部分を反応性イオンエッチングにより除去する。この後、図16Eに示すように、反応ガスを変えて等方的な反応性イオンエッチングをシリコン基板39に対して施すことにより、隣り合う溝ないしは穴を構造体の下で連通させる。これ  
20 により、中空構造を有する構造体を得ることができる。

図17は、例えば、1990年2月に発行された「エレクトロケミカル・ソサイエティ誌」の第137巻第2号の653～659頁（“Journal of  
Electrochemical Society”, Volume 137, Number 2, February (1990), page  
653-659）に開示されている従来のエッチング装置を示す図である。図17に示  
25 すように、このエッチング装置には、定圧電源41と、電流計42と、対向電極43と、参照電極44と、エッチャント47を収容しているエッチャント槽48とが設けられている。そして、このエッチング装置では、平板状のn型シリコン基板46の表面に、KOHを用いて逆四角錐形状のピットを形成した後、シリコン基板46をフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板46にこれが陽極になる

ように電圧を印加し、さらにシリコン基板46に光45を照射して、シリコン基板46の深さ方向にエッチングを施すようになっている。これにより、規則正しい穴をエッチングで形成することができる。

図18A～図18Fは、例えば、1997年9月に米国テキサス州オースチンで発行された「マイクロ加工及びマイクロの製造プロセス技術ⅢのS P I E誌」の第3223巻の189～197頁（“Proceedings SPIE Micromachining and Microfabrication Process Technology III”, Volume 3223, Austin, Texas, USA, September (1997), page 189-197）に開示されている従来のシリコンデバイスの製造工程を示す図である。このシリコンデバイスの製造においては、まず図18Aに示すように、平板状のn型シリコン基板49を準備する。そして、図18Bに示すように、シリコン基板49の表面に窒化シリコン膜50を形成する。続いて、図18Cに示すように、写真製版により窒化シリコン膜50にパターンニングを施してパターン51を形成する。次に、図18Dに示すように、KOHを用いて、シリコン基板49に逆三角形形状のピット52を形成する。さらに、KOHによるエッチングのマスクとして用いた窒化シリコン膜50を除去し、図18Eに示すようなピット52を備えたシリコン基板49を得る。この後、図18Fに示すように、シリコン基板49をフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板49にこれが陽極になるように電圧を印加し、さらにシリコン基板49に光を照射して基板深さ方向にエッチングを施し、シリコン基板49内に溝部54を形成する。

また、図19は、例えば、1994年4月に発行された「電気化学ソサイエティ誌」の第141巻の1006～1013頁（“Journal of Electrochemical Society”, Volume 141, Number 4, April (1994), page 1006-1013）に開示されている、従来のp型シリコン基板をフッ酸水溶液を含む有機溶媒に浸漬しつつ、p型シリコン基板にこれが陽極になるように電圧を印加して基板深さ方向にエッチングを施す際の反応メカニズムを段階的に示す図である。まず、図19中の（A）に示すようにシリコン基板の最上表面のシリコン原子[Si]に結びついていて水素原子[H]が、（B）に示すようにフッ素イオン[F<sup>-</sup>]及びホール[h<sup>+</sup>]の作用を受けて水素イオン[H<sup>+</sup>]となってシリコン原子との結びつき

がはずれ、これと同時にシリコン原子がラジカルとなる。さらに、(C)に示すようにラジカルとなったシリコン原子はフッ素イオン及び電子 $[e^-]$ の供給によりフッ素原子と結びつく。そして、(D)～(E)に示すように、残されたもう1つの水素原子についても同様の反応が起こり、結局シリコン原子は2個のフッ素原子と結合する。さらに、(F)に示すように、内部のシリコン原子との2つの結合も2個のフッ化水素 $[HF]$ の作用によりフッ素原子と結びつき、4フッ化ケイ素 $[SiF_4]$ として有機溶媒中に溶解出す。

ところで、このような従来の中空構造を有する構造体においては、構造体がポリシリコンで形成されている関係上、単結晶シリコンで形成されているものに比べてその機械的特性及び信頼性が劣るといった問題があった。また従来のプロセスでは、中空構造を作製するための犠牲層を厚くすることができず、したがって可動構造体と基板との間の空間を十分には大きくすることができないので、可動構造体が基板底面に吸着することがあるといった問題があった。さらに、単結晶シリコンを構造体とする中空構造を作製するには、複雑な製造工程が必要となり、歩留まり良く信頼性の高い構造体を簡単な製造工程で作製することができないといった問題があった。また、従来は、n型シリコン基板をフッ酸水溶液中でエッチングする場合、直径 $10\mu m$ 以下の穴か、又は幅 $3\mu m$ の溝を形成することができるのみであり、例えば中空構造を有する3次元構造のシリコンデバイスを作製することはできなかった。また、従来は、p型シリコン基板にフッ酸水溶液を含む有機溶媒中でエッチングを施す場合、エッチングされる部分の大きさ、位置を制御することができないという問題があった。

なお、本発明者らは、上記問題点を解決すべくシリコンデバイスの製造技術の開発研究を行い、その研究成果を、1998年1月25日～29日にドイツのハイデルベルグで開催された「マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムについての第11回年次国際研究会 (The Eleventh Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems)」において、「フッ化水素酸中における単一ステップの電気化学エッチングを用いた自立構造の製造 (Fabrication of free standing structure using single step electrochemical etching in hydrofluoric acid)」との表題で発表するとともに、その会誌の第246～

250頁 (IEEE Catalog Number 98CH36176 page 246-250) に開示している。この研究発表においては、 $n$ -タイプの(100)ウエハを用いて中空構造体を作製することが可能なことが明らかにされた。なお、この中空構造体の作製条件は、5%のフッ酸水溶液を用いて、初期に $26\text{ mA/cm}^2$ の電流密度で30分間  
5 エッチングを行った後、電流密度を $40\text{ mA/cm}^2$ に高めて7分間エッチングを行うといったものである。本発明者らは、これにより中空構造の片持ち梁を作製することに成功している。

#### 発明の開示

10 本発明は、上記従来の問題を解決するためになされたものであって、構造体を単結晶シリコンで形成することができ、基板と構造体との距離を十分に大きくすることができ、さらには1工程内で中空構造を作製することができ、歩留まり良く信頼性の高い中空構造を有するシリコンデバイスを提供することができ、さら  
15 にはかかるシリコンデバイスを簡素な製造工程で製造することができるシリコンデバイスの製造方法を提供することを目的とする。

上記の目的を達するためになされた本発明の第1の態様に係るシリコンデバイスの製造方法は、(i)シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、(ii)シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして  
20 該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチングを施し、エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びるエッチング部(例えば、開口部、溝部)を形成する第1のエッチング工程と、(iii)エッチング部が所定の深さに到達した後、シリコン基板内を流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位で隣り合うエッチ  
25 ング部同士を連通させ(すなわち、エッチング面を接続させ)、シリコン基板の一部からなる中空構造体を形成する第2のエッチング工程とを含んでいることを特徴とするものである。

この方法により製造された中空構造を有するシリコンデバイスにおいては、中空構造が1工程内のエッチングにより作製され、かつ中空構造体が単結晶シリコ



ンで形成される。その際、エッチングの実行時間により中空部の深さを制御することができる。このため、単結晶シリコンで形成された機械的特性に優れた構造体を1工程内で容易に作製することができる。さらには、構造体である可動部と基板との間の吸着を防止することができるので、歩留まり良く信頼性の高いシリコンデバイスを得ることができる。つまり、この製造方法によれば、製造されたシリコンデバイスの中空構造体が単結晶シリコンで構成されているので、機械的特性が優れた信頼性の高いデバイスが得られる。また、中空構造体の下の中空部を大きく作製することができるので、中空構造体はその下側の平板状基材へ吸着せず、歩留まりが大幅に向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法によれば、中空構造体である可動部の形状を1工程内で作製することができるので、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

本発明の第2の態様に係るシリコンデバイスの製造方法は、(i)シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、(ii)シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチングを施し、エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びる幅の狭いエッチング部(開口部、溝部)を形成する第1のエッチング工程と、(iii)幅の狭いエッチング部が所定の深さに到達した後、シリコン基板内を流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位に幅の狭いエッチング部よりも幅の広いエッチング部(開口部、溝部)を形成する第2のエッチング工程と、(iv)幅の広いエッチング部が所定の深さに到達した後、幅の狭いエッチング部を埋めることにより、シリコン基板内に中空路を形成する中空路形成工程とを含んでいることを特徴とするものである。

この製造方法においては、シリコン基板内に作製される中空路を簡素な製造工程で作製することができるので、信頼性の高いシリコンデバイスを安価に得ることができる。つまり、この製造方法によれば、シリコン基板内に流体を通すことができる中空路を簡素化された工程で作製することができるので、生産性が向上

するとともに、安価なシリコンデバイスを得ることができる。

本発明の第1又は第2の態様に係るシリコンデバイスの製造方法においては、シリコン基板表面に形成されたピット、シリコン基板上に形成されたマスク、あるいはn型シリコン基板表面にp型の材料を埋め込むことにより形成されたp型領域等をエッチング開始パターンとすることができる。

ここで、ピットをエッチング開始パターンとする場合は、シリコン基板の結晶方位に依存しない手法によりエッチング開始パターンを作製することができ、また作製されるシリコンデバイスもシリコン基板の結晶方位の影響を受けないので、任意の形状のシリコンデバイスを作製することができる。このため、機能が優れた小型のシリコンデバイスを作製することができる。つまり、エッチング開始パターンは、シリコンで構成されたシリコン基板の結晶方位の影響を受けない手法により、例えばリアクティブイオンエッチングなどにより形成されるので、シリコン基板の上に任意の形状のエッチング開始パターンを作製することができ、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができる。したがって、性能が優れた小型化されたシリコンデバイス構造を得ることができる。

マスクをエッチング開始パターンとする場合は、工程が簡素化され、さらにはシリコン基板の結晶方位の影響を受けない任意形状を作製できるので、機能が優れた小型のシリコンデバイスを安価に作製することができる。すなわち、エッチング開始パターンは、例えば、写真製版によってパターンニングされた窒化シリコン膜により構成され、シリコン基板の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板の上に任意の形状を有する。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れた小型化されたシリコンデバイスの構造を作製することができる。さらに、エッチング開始パターンの作製にはシリコン基板の初期エッチング工程を必要としないので、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

p型領域をエッチング開始パターンとする場合は、シリコン基板の結晶方位に依存しない手法によりエッチング開始パターンを作製することができ、また作製されるシリコンデバイスもシリコン基板の結晶方位の影響を受けないので、任意

の形状のシリコンデバイスを作製することができる。このため、機能が優れた小型のシリコンデバイスを作製することができる。すなわち、エッチング開始パターンを作製するためのイオン打ち込みに用いるマスクはシリコン基板の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板の上に、p型材料が基板に打ち込まれた任意の形状のエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れた小型化されたシリコンデバイス構造を得ることができる。

本発明に係るシリコンデバイスの製造方法において、シリコン基板としてn型シリコン基板を用いる場合は、第1及び第2のエッチング工程で、シリコン基板に光を照射し、該光の強度又は上記シリコン基板への印加電圧を変えることによりシリコン基板内を流れる電流を制御することができる。

この場合、n型シリコン基板を用いているので、エッチングに必要な正孔が光の照射によって供給される。このため、光の強度によってその供給量を制御することができ、中空構造を有するデバイスを精度良く作製することができる。このようにして製造されたシリコンデバイスにおいては、製造された中空構造体が単結晶シリコンで構成されているので、機械的特性が優れた信頼性の高いデバイスが得られる。また、中空構造体の下の中空部を大きく作製することができるので、中空構造体がその下側の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大きく向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法では、中空構造体である可動部の形状を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

また、本発明に係るシリコンデバイスの製造方法において、シリコン基板としてp型シリコン基板を用いる場合は、第1又は第2のエッチング工程で、シリコン基板への印加電圧を変えることによりシリコン基板内を流れる電流を制御することができる。

この場合、p型基板を用いているので、エッチングに必要な正孔が基板内に多数存在する。このため、シリコン基板に光を照射する必要がなく、エッチング装置を簡素化することができるとともに、シリコン基板内で均一なエッチング速度

を得ることができる。このため、信頼性の高いシリコンデバイスを安価に得ることができる。また、光の強度分布に起因する不均一性が除去できるのでシリコン基板内で均一なエッチングを施すことができ、信頼性の高いシリコンデバイスを安価に得ることができる。さらに、この製造方法を用いて製造したシリコンデバイスにおいては、製造された中空構造体が単結晶シリコンで構成されているので、機械的特性が優れた信頼性の高いデバイスが得られる。また、中空構造体の下の中空部を大きく作製することができるので、中空構造体とその下の平板状基材へ吸着しない。このため、歩留まりが大きく向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法では、中空構造体である可動部の形状を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

#### 図面の簡単な説明

図1A～図1Eは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。

図2は、本発明の実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるエッチング装置の立面断面図である。

図3A及び図3Bは、それぞれ、本発明の実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるさらなるエッチング装置の立面断面図である。

図4は、本発明の実施の形態2に係るシリコンデバイスの製造工程のエッチング時におけるエッチング径と電流密度との関係を示す図である。

図5は、本発明の実施の形態3に係るシリコンデバイスの製造工程のエッチング時におけるエッチング面の傾き角と電流密度との関係を示す図である。

図6A～図6Fは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態5に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。

図7A～図7Eは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態6に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。

5 図8は、本発明の実施の形態6に係るシリコンデバイスの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるエッチング装置の立面断面図である。

図9は、本発明の実施の形態6に係るシリコンデバイスの製造工程において、シリコン基板にエッチングを施す際に用いられるもう1つのエッチング装置の立面断面図である。

10 図10A～図10Cは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態7に係るシリコンデバイスの製造工程においてエッチング開始パターンを形成する際の工程を示している。

15 図11A～図11Cは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態8に係るシリコンデバイスの製造工程においてエッチング開始パターンを形成する際の工程を示している。

図12A及び図12Bは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態9に係るシリコンデバイスの製造工程においてエッチング開始パターンを形成する際の工程を示している。

20 図13A及び図13Bは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態10に係るシリコンデバイスの製造工程においてエッチング開始パターンを形成する際の工程を示している。

図14A～図14Cは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、本発明の実施の形態11に係るシリコンデバイスの製造工程においてエッチング開始パターンを形成する際の工程を示している。

25 図15A～図15Fは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、従来から用いられている中空構造のシリコンデバイスの製造工程を示している。

図16A～図16Eは、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、従来から用いられているもう1つの中空構造のシリ

コンデバイスの製造工程を示している。

図 1 7 は、従来の中空構造のシリコンデバイスの製造工程で用いられているエッチング装置の立面断面図である。

5 図 1 8 A ～ 図 1 8 F は、それぞれ、シリコン基板ないしはシリコンデバイス中間体の立面断面図であって、シリコン基板上に溝を形成する際の従来の溝部形成工程を示している。

図 1 9 は、p 型シリコンのエッチング時における反応メカニズムを示す図である。

#### 10 発明を実施するための最良の形態

以下、添付の図面を参照しつつ、本発明の実施の形態を具体的に説明する。なお、添付の各図面において、共通する部材ないしは構成要素には同一番号が付されている。また、この明細書中において「シリコンデバイス中間体」とは、シリコンデバイスの製造工程において原材料であるシリコン基板に加工が行われたものであって、まだシリコンデバイスとして完成されていない状態のものを意味する。

15

##### 実施の形態 1

図 1 A ～ 図 1 E は、本発明の実施の形態 1 に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 1 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

20

このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 1 A に示すように、厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 B に示すように、このシリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、この窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングを行う前に実施する初期エッチングのためのマスク 3 を作製する。次に、図 1 C に示すように、リアクティブイオンエッチングによりシリコン基板 1 に初期エッチングを施して深さが約  $3\text{ }\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 4 を形成する。

25

そして、シリコン基板 1（シリコンデバイス中間体）を 5 % のフッ酸水溶液に

浸漬しつつ、シリコン基板1が陽極となるようにして、シリコン基板1と対向電極との間に約3 Vの電圧を印加する。このとき、シリコン基板1の背面に、発光強度を任意に変えることができる150 wのハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板1の深さ方向にエッチングを施す。このとき、シリコン基板1の電

5 流密度が $20 \text{ mA/cm}^2$ 以上、 $30 \text{ mA/cm}^2$ 以下となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。なお、一般に知られているとおり、この光の強度とシリコン基板1内の電流密度との間には、前者の増減に伴って後者が一義的に増減するといった関数関係が存在する。かくして、図1 Dに示すように、エッチング開始パターン4の下側に形成されたエッチング部4'（開口部、溝部）がシリ

10 コン基板1の深さ方向に延びる。この後、エッチングにより形成されたエッチング部4'が所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることにより、シリコン基板1内の電流密度を $40 \text{ mA/cm}^2$ 以上に高め、隣り合うエッチング面（エッチング部の側壁）がシリコンデバイス中間体の下部でつながる（隣り合うエッチング部同士が連通する）ように、約10分間エッチングを施す。これにより、図1 Eに示すように、シリコン基板1の一部からなる単結晶中空構造体5が形成されるとともに、該中空構造体5の下に中空部6が形成される。

このようにして形成される中空部6の深さは、前記の $40 \text{ mA/cm}^2$ 以上で行ったエッチングの実施時間を調節することにより任意の値とすることができる。ここで、エッチャントとして用いたフッ酸水溶液の濃度は、1%以上、20%以下

20 下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸水溶液の濃度が1%より低いとエレクトロポリッシングが起こり、また20%を超えると滑らかなエッチング面が得られないので、上記範囲外では所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。

また、印加電圧は10 V以下に設定するのが望ましい。10 Vを超える電圧を

25 印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、ここで述べている印加電圧は、定圧電源から出力される電圧ではなく、実際にシリコン基板1に印加されている電圧を意味する。

さらに、n型シリコン基板1のシート抵抗は $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、 $50 \Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。

c m以下の範囲内に設定するのが好ましい。シリコン基板1のシート抵抗が $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また $50 \Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製するのが困難となるからである。

5      なお、初期エッチングの深さは、これに引き続き行われる主たるエッチングに影響を与えない。ただし、初期エッチングを行わない場合は、初期エッチングを行った場合と比較して、作製される構造体の寸法精度が劣るので、構造体の精度が必要な場合は、初期エッチングを施すのが好ましい。さらに、シリコン基板1の初期の厚みは初期エッチング、またそれに引き続き行われる主たるエッチング  
10      に影響を与えない。また、中空構造を形成するためにシリコン基板1の電流密度を高める際に、光の強度を変化させず、印加電圧を高めることによって電流密度を変化させても同様の効果が得られる。

実施の形態1に係る製造方法で製造されたシリコンデバイスにおいては、中空構造体5が単結晶シリコンで形成されているので、該シリコンデバイスは機械的  
15      特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体5の下の中空部6を大きくすることができるので、中空構造体5がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大幅に向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法によれば、中空構造体5を含む可動部を1工程内（単一工程内）で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得る  
20      ことができる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板1の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板1の上に任意の形状のエッチング開始パターン4を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体5も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得ることができる。

25      図2は、本発明の実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるエッチング装置を示している。図2に示すように、このエッチング装置には、エッチングを施すべきn型シリコン基板1を保持するとともに該シリコン基板1との電氣的導通を得るためのシリコン基板保持部7が設けられている。このシリコン基板保持部7は、例えば銅で形成され



ている。さらに、このエッチング装置には、シリコン基板保持部 7 の内側にエッチャント 10 が漏れないようにするための耐薬品性に優れたオーリング 8 と、シリコン基板 1 内に電子正孔対を生成させるための光源 9 と、電流計 11 と、定圧電源 12 と、例えば白金等の貴金属からなる対向電極 13 とが設けられている。

5 また、エッチング装置には、例えばテフロン等からなりエッチャント 10 を収容する容器 14 と、シリコン基板保持部 7 をエッチャント 10 から保護するための外枠 15 とが設けられている。なお、外枠 15 は、例えばテフロン等で形成されている。

このエッチング装置においては、エッチャント 10 に表面活性剤等を添加すれば、エッチング中に発生する水素がシリコン基板 1 の表面から離脱しやすくなり、  
10 シリコン基板 1 内でのエッチングの均一性が向上する。また、シリコン基板 1 の裏側にイオンを打ち込み、さらにアルミ等を例えばスパッタ装置を用いて成膜して、シリコン基板保持部 7 とシリコン基板 1 との接触抵抗を低下させれば、エッチングが安定しシリコン基板 1 内でのエッチングが均一化され、信頼性の高いシリコンデバイスが得られる。さらに、シリコン基板保持部 7 とシリコン基板 1 との間に銀粒子を含んだ接着剤を用いれば、接触抵抗をさらに低下させることができ、上記効果を高めることができる。

図 3 A は、本発明の実施の形態 1 に係るシリコンデバイスの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるもう 1 つのエッチング装置を示している。  
20 図 2 に示すエッチング装置では、シリコン基板 1 のエッチングが施されるべき広がり面が下方に向けられその下側のエッチャント 10 によってエッチングが施される一方、シリコン基板 1 の上方に光源 9 が配置された構造となっている。これに対して、図 3 A に示すエッチング装置では、シリコン基板 1 のエッチングが施されるべき広がり面が上方に向けられその上側のエッチャント 10 によってエッチングが施される一方、シリコン基板 1 の下方に光源 9 が配置された構造となっている。  
25 図 3 A に示すエッチング装置においては、エッチング中に、シリコン基板 1 のエッチングが施されている広がり面付近で発生する気泡は、その浮力によって上方すなわちシリコン基板表面から離脱する方向への移動が助勢される。このため、気泡がシリコン基板から非常に離脱しやすくなり、これによりシリコ

ン基板 1 内でのエッチングの均一性が一層向上する。

また、図 3 B に示すように、図 3 A に示すエッチング装置の構造において、さらにシリコン基板 1 と光源 9 との間にレンズ 3 1 を配置してもよい。このようにすれば、シリコン基板 1 内での光強度を均一化することができるので、シリコン  
5 基板面内に形成される構造体も均一化され、信頼性の高いシリコンデバイスを得ることができる。

#### 実施の形態 2

前記の実施の形態 1 に係るシリコンデバイスの製造方法においては、エッチングによってシリコン基板 1 内に形成されるエッチング部（開口部、溝部）の幅な  
10 いしは径（以下、「エッチング径」という）は、シリコン基板 1 内の電流密度に依存する。そこで、基本的には実施の形態 1 に係るエッチング方法を用い、具体的なエッチング条件を下記のように設定した上で、シリコン基板 1 内の電流密度を種々変えてエッチングを行い、n 型シリコン基板 1 内の電流密度とエッチング  
径との間の関係を求めた。

すなわち、このエッチングにおいては、厚さが約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を用い、このシリコン基板 1 の上に、厚さが約  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法により形成した。さらに、窒化シリコン膜 2 に対して写真製版によりパターンニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 3 を作製した。次に、リアクティブイオンエッチングにより初期エッチ  
20 グを施し、 $8\text{ }\mu\text{m}$  の間隔で配置された一辺  $4\text{ }\mu\text{m}$  の正方形の開口を有する深さ約  $4\text{ }\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 4 を形成した。次に、図 2 に示すエッチング装置を用いて、シリコン基板 1 を約 5 % のフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板 1 が陽極となるようにして、該シリコン基板 1 と対向電極 1 3 との間に約 3 V の電圧を印加した。このとき、シリコン基板 1 の背面に発光強度を任意に変える  
25 ことができる  $150\text{ w}$  のハロゲンランプを用いて光を照射しつつ、シリコン基板 1 の深さ方向に 30 分間エッチングを施した。なお、シリコン基板 1 内の電流密度は、ハロゲンランプの光の強度を調節することにより行った。

図 4 に、このようにしてエッチングを行い、n 型シリコン基板 1 内の電流密度とエッチング径との関係を求めた結果を示す。なお、エッチング径は、エッチン

グ終了後、シリコン基板1を劈開してその断面をスキヤニングエレクトロンマイクロスコプで観察することにより測定した。図4によれば、電流密度を変化させることにより、エッチング開始パターン4の下に形成されるエッチング部のエッチング径を制御できることがわかる。

### 5 実施の形態3

前記のとおり、実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造方法においては、エッチングによってシリコン基板1内に形成されるエッチング部のエッチング径は、シリコン基板1内の電流密度に依存する。さすれば、エッチング実行時にシリコン基板1内の電流密度を変化させれば、これに伴ってエッチング径は基板深さ方向に変化することが予測される。例えば、電流密度を一定の減少率（減少速度）で連続的に減少させれば、エッチングによって形成されるエッチング部のエッチング径は、基板内部側に向かっておおむね一定の減少率で減少するものと予測される。そこで、基本的には実施の形態1に係るエッチング方法を用い、具体的なエッチング条件を下記のように設定した上で、シリコン基板1内の電流密度の減少率を種々変えてエッチングを行い、n型シリコン基板1内の電流密度の減少速度とエッチング部側壁（エッチング面）の傾き角との間の関係を求めた。

すなわち、このエッチングにおいては、厚さ約400 $\mu\text{m}$ のn型シリコン基板1を用い、このシリコン基板1の上に、厚さ約0.3 $\mu\text{m}$ の窒化シリコン膜2をスパッタ法により形成した。さらに、窒化シリコン膜2に対して写真製版によりパターンニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク3を作製した。次に、リアクティブイオンエッチングにより初期エッチングを施し、8 $\mu\text{m}$ 間隔で配置された一辺4 $\mu\text{m}$ の正方形の開口を有する深さ約4 $\mu\text{m}$ のエッチング開始パターン4を形成した。次に、図2に示すエッチング装置を用いて、シリコン基板1を5%のフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板1が陽極となるようにして、該シリコン基板1と対向電極との間に約3Vの電圧を印加した。このとき、シリコン基板1の背面に発光強度を任意に変えることができる150wのハロゲンランプを用いて光を照射しつつ、シリコン基板1の深さ方向に電流密度30mA/cm<sup>2</sup>で10分間エッチングを施した後、所定の電流密度減少率で10mA/cm<sup>2</sup>まで電流密度を減少させた。なお、シリコン基板1に

流れる電流密度はハロゲンランプの光の強度を調節することにより行った。

図5に、このようにしてエッチングを行い、n型シリコン基板1内の電流密度減少率と、エッチング面（エッチング部の側壁面）の傾き角との関係を求めた結果を示す。なお、エッチング面の傾き角は、エッチング終了後、シリコン基板1を劈開して断面をスキャニングエレクトロンマイクロスコプで観察することにより測定した。図5によれば、エッチング中に電流密度を変化させることによりエッチング開始パターン4の下に形成されるエッチング部のエッチング径を連続的に変化させることができることがわかる。

#### 実施の形態4

以下、実施の形態4に係るシリコンデバイスの製造方法を説明するが、この実施の形態4に係るシリコンデバイスの製造方法は、図1A～図1Eに示す実施の形態1に係るシリコンデバイスの製造方法と多くの共通点をもつ。そして、図1A～図1Eは、エッチング開始パターン4の深さが異なる点を除けば（実施の形態1では $3\mu\text{m}$ であるが、実施の形態4では $1\mu\text{m}$ ）、実施の形態4についても当てはまる。そこで、以下では、図1A～図1Eを参照しつつ説明する。

実施の形態4に係るシリコンデバイスの製造方法においては、図1A及び図1Bに示すように、実施の形態1の場合と同様に、厚さ約 $400\mu\text{m}$ のn型シリコン基板1の上に、例えば厚さ約 $0.3\mu\text{m}$ の窒化シリコン膜2をスパッタ等により形成し、該窒化シリコン膜2に対して写真製版等によりパターンニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク3を作製する。

続いて、シリコン基板1（シリコンデバイス中間体）にイオンビームエッチングを用いて初期エッチングを施し、図1Cに示すような深さ約 $1\mu\text{m}$ のエッチング開始パターン4を形成する（ただし、実施の形態1の場合よりは浅い）。次に、シリコン基板1を約5%のアンモニアフルオライド水溶液に浸漬し、シリコン基板1が陽極となるようにして、該シリコン基板1と対向電極との間に約3Vの電圧を印加する。このとき、シリコン基板1の背面に発光強度を任意に変えることができる $150\text{w}$ ハロゲンランプを用いて光を照射しつつ、図1Dに示すように、シリコン基板1の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板1の電流密度が $10\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上、 $20\text{mA}/\text{cm}^2$ 以下となるように、ハロゲンラ

ンプの光の強度を調節する。エッチングが所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることにより、シリコン基板1の電流密度を $30\text{ mA/cm}^2$ 以上にまで高め、隣り合うエッチング面がシリコンデバイス中間体の下部でつながるように約10分間エッチングを施す。これにより、図1Eに示すように、シリコン基板1の一部からなる単結晶中空構造体5を作製するとともに、この中空構造体5の下に中空部6を形成する。

ここで、中空部6の深さは、前記の $30\text{ mA/cm}^2$ 以上で行うエッチングの時間を調節することにより任意の値とすることができる。そして、エッチャントとして用いるアンモニアフルオライド水溶液の濃度は、1%以上、20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。アンモニアフルオライド水溶液の濃度が1%より低いとエレクトロポリッシングが起り所望のエッチングを行うことができず、また20%を超えると滑らかなエッチング面を得ることができないからである。また、印加電圧は10V以下に設定するのが望ましい。10Vを超える電圧を印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起り、滑らかなエッチング面を得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、実施の形態1の場合と同様に、定圧電源から出力される電圧ではなく、シリコン基板1に印加されている電圧を意味する。さらに、n型シリコン基板1のシート抵抗は、 $0.1\ \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、 $50\ \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲内に設定するのが好ましい。n型シリコン基板1のシート抵抗が $0.1\ \Omega \cdot \text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成され所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また $50\ \Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。

この製造方法により製造されたシリコンデバイスにおいては、中空構造体5が単結晶シリコンで形成されているので、該シリコンデバイスは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体5の下の中空部6を大きくすることができるので、中空構造体5がその下の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大きく向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法によれば、中空構造体5を含む可動部を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

また、初期エッチングに用いたイオンビームエッチングは、シリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン 4 を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体 5 も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得ることができる。また、アンモニアフルオライドは同濃度のフッ酸水溶液と比較して、シリコンデバイスの配線に用いるアルミへのエッチング速度が遅い。このため、エッチング中に配線を保護する必要がなくなり、製造工程が簡素化される。

#### 実施の形態 5

図 6 A～図 6 F は、本発明の実施の形態 5 に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 5 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

このシリコンデバイスの製造工程においては、図 6 A～図 6 C に示すように、実施の形態 1 に係るシリコンデバイスの製造工程の場合と同様に、厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ等により形成し、該窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターンニングを施して初期エッチング用のマスク 3 を作製し、さらにリアクティブイオンエッチングによりシリコン基板 1 に初期エッチングを施して深さが約  $3\text{ }\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 4 を形成する。

次に、シリコン基板 1 を約 5 % のフッ酸水溶液に浸漬しつつ、シリコン基板 1 が陽極となるようにして、該シリコン基板 1 と対向電極との間に約 3 V の電圧を印加する。このとき、シリコン基板 1 の背面に発光強度を任意に変えることができる  $150\text{ W}$  のハロゲンランプを用いて光を照射し、シリコン基板 1 の深さ方向にエッチングを施す。その際、シリコン基板 1 の電流密度が  $20\text{ mA}/\text{cm}^2$  以上、 $30\text{ mA}/\text{cm}^2$  以下となるようにハロゲンランプの光の強度を調節する。かくして、図 6 D に示すように、エッチング開始パターン 4 の下側に、両矢印 16 で示す比較的狭い幅のエッチング部 4' (溝部) が形成される。このエッチングにより形成されたエッチング部 4' が所望の深さに到達した後、ハロゲンランプの光の強度を強めることによりシリコン基板 1 の電流密度を  $30\text{ mA}/\text{cm}$

<sup>2</sup>以上に高め、この状態で15分間エッチングを施す。これにより、図6Eに示すように、シリコン基板1の内部に両矢印17で示す比較的広い幅の空間部18

(エッチング部)が形成される。さらに、図6Fに示すように、例えばCVD等を用いて窒化シリコン膜19を形成し、シリコン基板1の中に形成された空間部18と外部とを遮断することにより、シリコン基板1内に中空路を形成する。

ここでエッチャントとして用いるフッ酸水溶液の濃度は、1%以上、20%以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸水溶液の濃度が1%より低いとエレクトロポリッシングが起こり、また20%を超えると滑らかなエッチング面が得られず、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印加電圧は10V以下に設定するのが望ましい。10Vを超える電圧を印加した場合は、局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、実施の形態1の場合と同様に、実際にシリコン基板に印加されている電圧を意味する。さらに、n型シリコン基板1のシート抵抗は、 $0.1\Omega \cdot \text{cm}$ 以上、 $50\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲内に設定するのが好ましい。n型シリコン基板1のシート抵抗が $0.1\Omega \cdot \text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成されて所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また $50\Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。

この実施の形態5に係る製造方法により製造されたシリコンデバイスにおいては、中空構造体が単結晶シリコンで形成されているので、該シリコンデバイスは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、初期エッチングに用いたリアクティブイオンエッチングはシリコン基板1の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板1の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン4を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空路も2次元面内で任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得ることができる。また、シリコン基板1内に流体を通すことができる中空路は、簡素化された工程で安価な装置を用いて作製することができるので、生産性が向上するとともに、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

## 実施の形態 6

図 7 A～図 7 E は、本発明の実施の形態 6 に係るシリコンデバイスの製造工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 6 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

5       このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 7 A に示すように、厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の p 型シリコン基板 20 を準備する。そして、図 7 B に示すように、この p 型シリコン基板 20 の上に、例えば厚さ約  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、この窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのため  
10       のマスク 3 を作製する。次に、図 7 C に示すように、リアクティブイオンエッチングによりシリコン基板 20 に初期エッチングを施して深さが約  $3\text{ }\mu\text{m}$  のエッチング開始パターン 4 を形成する。

次に、シリコン基板 20 を、5 % のフッ酸と 5 % の水とを含み残りがジメチルホルムアミドである有機溶媒に浸漬し、シリコン基板 20 が陽極となるようにし  
15       て、該シリコン基板 20 と対向電極との間に約 3 V の電圧を印加し、シリコン基板 20 の深さ方向にエッチングを施す。このとき、シリコン基板 20 の電流密度が  $20\text{ mA}/\text{cm}^2$  以上、 $30\text{ mA}/\text{cm}^2$  以下となるように電源の電圧を調節する。かくして、図 7 D に示すように、エッチング開始パターン 4 の下側に形成されたエッチング部 4' (溝部) がシリコン基板 20 の深さ方向に延びる。この  
20       後、エッチングにより形成されたエッチング 4' が所望の深さに到達した後、電源の印加電圧を高めることにより、シリコン基板 20 の電流密度を  $40\text{ mA}/\text{cm}^2$  以上に高め、隣り合うエッチング面がシリコンデバイス中間体の下部でつながるように約 10 分間エッチングを施す。これにより、図 7 E に示すように、シリコン基板 20 の一部からなる単結晶中空構造体 21 が作製されるとともに、  
25       この中空構造体 21 の下に中空部 22 が形成される。なお、中空部 22 の深さは、前記の  $40\text{ mA}/\text{cm}^2$  以上で行ったエッチングの時間を調節することにより任意の深さとすることができる。

ここでエッチャントとして用いたフッ酸の濃度は、1 % 以上、20 % 以下の範囲内に設定するのが好ましい。フッ酸の濃度が 1 % 未満ではエレクトロポリシ



ングが起こり、また20%を超えると滑らかなエッチング面が得られないので、所望のデバイス形状を得ることが困難となるからである。また、印加電圧は10V以下に設定するのが望ましい。10Vを超える電圧を印加した場合は局所的な絶縁破壊が起こり、滑らかなエッチング面が得ることが困難となり、所望のシリコンデバイス形状を得ることが困難となるからである。なお、この印加電圧は、電源から出力される電圧ではなく、実際にシリコン基板に印加されている電圧を意味する。さらに、p型シリコン基板20のシート抵抗は $0.01\Omega \cdot \text{cm}$ 以上、 $500\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲内に設定するのが好ましい。p型シリコン基板20のシート抵抗が $0.01\Omega \cdot \text{cm}$ より低い場合はマイクロポーラスシリコンがエッチング面に形成されて所望のシリコンデバイス形状を得ることができず、また $500\Omega \cdot \text{cm}$ を超える場合は微細なシリコンデバイスの形状を作製することが困難となるからである。

この実施の形態6に係る製造方法により製造されたシリコンデバイスにおいては、中空構造体21が単結晶シリコンで形成されているので、該シリコンデバイスは機械的特性が優れた信頼性の高いものとなる。また、中空構造体21の下の中空部22を大きく形成することができるので、中空構造体21がその下側の平板状基材に吸着しない。このため、歩留まりが大きく向上する。さらに、このシリコンデバイスの製造方法では、中空構造体21を含む可動部を1工程内で作製することができる。このため、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。また、初期エッチングに用いるリアクティブイオンエッチングはシリコン基板20の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板20の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン4を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体21も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得ることができる。

図8は、本発明の実施の形態6に係るシリコンデバイスの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるエッチング装置を示しているが、このエッチング装置は、図2に示す実施の形態1に係るエッチング装置と多くの共通点を有する。したがって、以下では説明の重複を避けるため、図2に示すエッチ

ング装置と異なる点についてのみ説明する。すなわち、図8に示すように、実施の形態6に係るエッチング装置では、実施の形態1のような光源9（図2参照）は設けられていない。そして、エッチャント23の組成が実施の形態1とは異なる。また、シリコン基板20がp型である点が実施の形態1とは異なる。さらに、電源12が、シリコン基板20内の電流密度を調節するために変化させられる点が実施の形態1とは異なる。図8に示すエッチング装置のその他の構成ないしは機能については、図2に示す実施の形態1に係るエッチング装置の場合と同様である。

このエッチング装置においては、エッチャント23に表面活性剤等を添加すると、エッチング中に発生する水素がシリコン基板表面から離脱しやすくなり、またエッチング面とエッチャントとの濡れ性が向上するので、シリコン基板20内でのエッチングの均一性が向上する。なお、ジメチルホルムアミドの代わりにアセトニトリルを用いても同様の効果が得られる。さらに、フッ酸の代わりにアンモニアフルオライドを用いても同様の効果が得られる。また、実施の形態1の場合と同様に、シリコン基板20の裏側にイオンを打ち込み、さらにアルミ等を例えばスパッタ装置を用いて成膜して、シリコン基板保持部7とシリコン基板20との接触抵抗を低下させれば、エッチングが安定しシリコン基板20内でのエッチングが均一化され、信頼性の高いシリコンデバイスが得られる。さらに、シリコン基板保持部7とシリコン基板20との間に銀粒子を含んだ接着剤を用いれば、接触抵抗をさらに低下させることができ、上記効果を高めることができる。

図9は、本発明の実施の形態6に係るシリコンデバイスの製造工程において、主たるエッチングを行う際に用いられるもう1つのエッチング装置を示している。図8に示すエッチング装置では、シリコン基板20のエッチングが施されるべき広がり面が下方に向けられその下側のエッチャント23によってエッチングが施される構造となっている。これに対して、図9に示すエッチング装置では、シリコン基板20のエッチングが施されるべき広がり面が上方に向けられその上側のエッチャント23によってエッチングが施される構造となっている。図9に示すエッチング装置においては、エッチング中に、シリコン基板20のエッチングが施されている広がり面付近で発生する気泡は、その浮力によって上方すなわちシ

リコン基板表面から離脱する方向への移動が助勢される。このため、気泡がシリコン基板 20 から非常に離脱しやすくなり、これによりシリコン基板 20 内でのエッチングの均一性が一層向上する。

#### 実施の形態 7

5 図 10 A～図 10 C は、本発明の実施の形態 7 に係るシリコンデバイスの製造工程におけるエッチング開始パターン形成工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 7 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 10 A に示すように、厚さ約 400  $\mu\text{m}$  の p 型シリコン基板 20 を準備する。そして、図 10 B に示すように、このシリコン基板 20 の上に、例えば厚さ約 0.3  $\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、この窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 3 を作製する。次に、図 10 C に示すように、例えばリアクティブイオンエッチングによりシリコン基板 20 に初期エッチング 24 を施してエッチング開始パターン 25 を形成する。この後、実施の形態 6 の場合と同様に、シリコン基板 20 に対して主たるエッチングを施し、シリコン基板 20 の一部からなる単結晶中空構造体 21 を作製するとともに、この中空構造体 21 の下に中空部 22 を形成する（図 7 E 参照）。

この実施の形態 7 に係るリアクティブイオンエッチングにおいては、シリコン  
20 基板 20 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 20 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターン 25 を作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体 21 も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得ることができる。また、窒化シリコン膜 2 の代わりにレジストを用いても同様のエッチング開始パターン  
25 を得ることができ、さらにリアクティブイオンエッチングの代わりにイオンビームエッチングを用いても同様の効果を有するエッチング開始パターン 25 を得ることができる。

#### 実施の形態 8

図 11 A～図 11 C は、本発明の実施の形態 8 に係るシリコンデバイスの製造

工程におけるエッチング開始パターン形成工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 8 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

- このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 1 1 A に示すように、例えば厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 1 B に示すように、このシリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、この窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターンニングを施し、主たるエッチングを行う前に実施する初期エッチングのためのマスク 3 を作製する。次に、図 1 1 C に示すように、例えばフッ硝酸（フッ酸と硝酸の混合物）をエッチャントとして用いて、等方性のウェットエッチングにより初期エッチング 2 6 を施し、エッチング開始パターン 2 7 を形成する。この後、実施の形態 1 の場合と同様に、シリコンデバイス中間体に対して主たるエッチングを施し、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 5 を作製するとともに、この中空構造体 5 の下に中空部 6 を形成する（図 1 E 参照）。
- この実施の形態 8 に係る等方性のウェットエッチングにおいては、シリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイスの構造を作製することができる。さらに、エッチング開始パターン 2 7 を作製するエッチング方法がウェットエッチングであるので、そのエッチング装置が安価である。また、同時に複数枚の平板状基材にエッチング開始パターン 2 7 を作製することができるので、安価にシリコンデバイスを得ることができる。

#### 実施の形態 9

- 図 1 2 A 及び図 1 2 B は、本発明の実施の形態 9 に係るシリコンデバイスの製造工程におけるエッチング開始パターン形成工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 9 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 1 2 A に示すように、例えば厚さ約  $400\text{ }\mu\text{m}$  の平板状の n 型シリコン基板 1（平板状基材）を準備する。

そして、図 1 2 B に示すように、このシリコン基板 1 の上に、例えばレーザビームを用いて直接描画 2 8 を行い、エッチング用のエッチング開始パターン 2 9 を作製する。この後、実施の形態 1 の場合と同様に、シリコンデバイス中間体に対して主たるエッチングを施し、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 5 を作製するとともに、この中空構造体 5 の下に中空部 6 を形成する（図 1 E 参照）。

この実施の形態 9 に係るシリコンデバイスの製造方法においては、エッチング開始パターン 2 9 はシリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイスの構造を作製することができる。さらに、エッチング開始パターン 2 9 を作製する際、該エッチング開始パターン 2 9 を作製するためのマスク及びこれを用いたエッチング工程を必要としないので、製造工程が簡素化され、安価にシリコンデバイスを得ることができる。また、レーザビームの代わりに収束イオンビームを用いても同様のエッチング開始パターンを作製することができる。

#### 実施の形態 1 0

図 1 3 A 及び図 1 3 B は、本発明の実施の形態 1 0 に係るシリコンデバイスの製造工程におけるエッチング開始パターン形成工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 1 0 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 1 3 A に示すように、例えば厚さ約  $400\ \mu\text{m}$  の平板状の n 型シリコン基板 1（平板状基材）を準備する。そして、図 1 3 B に示すように、このシリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約  $0.3\ \mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターニングを施し、エッチング用のマスク 3 を作製する。そして、このマスク 3 をエッチング開始パターンとして用いる。この後、実施の形態 1 の場合と同様に、シリコン基板 1 に対して主たるエッチングを施し、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 5 を作製するとともに、

この中空構造体 5 の下に中空部 6 を形成する（図 1 E 参照）。

この実施の形態 10 に係るシリコンデバイスの製造方法においては、エッチング開始パターンはシリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。

5 このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイスの構造を作製することができる。なお、この製造方法においては、初期エッチングを行ってシリコン基板表面にピットを作製した場合に比べて、デバイス形状の精度はやや劣るものの、製造工程が簡素化されるので安価にデバイスを得ることができる。

#### 10 実施の形態 11

図 1 4 A～図 1 4 C は、本発明の実施の形態 11 に係るシリコンデバイスの製造工程におけるエッチング開始パターン形成工程を示している。以下、これらの図を参照しつつ、実施の形態 11 に係るシリコンデバイスの製造方法を説明する。

このシリコンデバイスの製造工程においては、まず図 1 4 A に示すように、例

15 えば厚さ約 400  $\mu\text{m}$  の平板状の n 型シリコン基板 1 を準備する。そして、図 1 4 B に示すように、このシリコン基板 1 の上に、例えば厚さ約 0.3  $\mu\text{m}$  の窒化シリコン膜 2 をスパッタ法等により形成した上で、窒化シリコン膜 2 に対して写真製版等によりパターンニングを施し、主たるエッチングの前に行う初期エッチングのためのマスク 3 を作製する。次に、図 1 4 C に示すように、上記マスク 3

20 を用いて、p 型シリコンを形成するためのイオン、例えばボロン等によるイオン打ち込みを行い、p 型領域をパターンとするエッチング開始パターン 30 を形成する。この後、実施の形態 1 の場合と同様に、シリコン基板 1 に対して主たるエッチングを施し、シリコン基板 1 の一部からなる単結晶中空構造体 5 を作製するとともに、この中空構造体 5 の下に中空部 6 を形成する（図 1 E 参照）。

25 この実施の形態 11 に係るシリコンデバイスの製造方法においては、イオン打ち込みに用いるマスク 3 はシリコン基板 1 の結晶方位の影響を受けないので、シリコン基板 1 の上に任意の形状を有するエッチング開始パターンを作製することができる。このため、これに引き続き行うエッチングにより作製される中空構造体も任意の形状を持たせることができ、性能が優れたシリコンデバイス構造を得

ることができる。

#### 産業上の利用の可能性

- 5 以上のように、本発明に係るシリコンデバイスの製造方法は、とくに中空構造体が単結晶シリコンで構成されているシリコンデバイスの製造に有用であり、加速度ないしは角速度等を示す慣性力、圧力、その他の種々の物理量の計測に用いられる各種センサ、あるいは流体等が流れる通路がシリコン基板内に設けられた流体デバイスなどのシリコンデバイスの製造方法に用いるのに適している。

## 請 求 の 範 囲

1. シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、

- 5       上記シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチングを施し、上記エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びるエッチング部を形成する第1のエッチング工程と、

10       上記エッチング部が所定の深さに到達した後、上記シリコン基板内を流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位で隣り合うエッチング部同士を連通させ、シリコン基板の一部からなる中空構造体を形成する第2のエッチング工程とを含んでいるシリコンデバイスの製造方法。

- 15       2. シリコン基板表面又はシリコン基板上にエッチング開始パターンを形成するエッチング開始パターン形成工程と、

      上記シリコン基板をフッ素イオンを含む溶液に浸漬しつつ、該シリコン基板が陽極となるようにして該シリコン基板に電圧を印加することにより該シリコン基板にエッチングを施し、上記エッチング開始パターンからシリコン基板深さ方向に延びる幅の狭いエッチング部を形成する第1のエッチング工程と、

- 20       上記の幅の狭いエッチング部が所定の深さに到達した後、上記シリコン基板内を流れる電流を増加させることによりシリコン基板のエッチングを促進して、上記深さより深い部位に上記の幅の狭いエッチング部よりも幅の広いエッチング部を形成する第2のエッチング工程と、

25       上記の幅の広いエッチング部が所定の深さに到達した後、上記の幅の狭いエッチング部を埋めることにより、上記シリコン基板内に中空路を形成する中空路形成工程とを含んでいるシリコンデバイスの製造方法。

3. 上記シリコン基板表面にピットを形成し、該ピットを上記エッチング開始パターンとするようになっている請求項1に記載のシリコンデバイスの製造方法。

4. 上記シリコン基板表面にピットを形成し、該ピットを上記エッチング開始パ



ターンとするようになっている請求項 2 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

5. 上記シリコン基板上にマスクを形成し、該マスクを上記エッチング開始パターンとするようになっている請求項 1 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

6. 上記シリコン基板上にマスクを形成し、該マスクを上記エッチング開始パターンとするようになっている請求項 2 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

7. n 型シリコン基板表面に p 型の材料を埋め込むことにより p 型領域を形成し、該 p 型領域を上記エッチング開始パターンとするようになっている請求項 1 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

8. n 型シリコン基板表面に p 型の材料を埋め込むことにより p 型領域を形成し、該 p 型領域を上記エッチング開始パターンとするようになっている請求項 2 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

9. 上記シリコン基板として n 型シリコン基板を用い、上記第 1 及び第 2 のエッチング工程で、上記シリコン基板に光を照射し、該光の強度又は上記シリコン基板への印加電圧を変えることにより上記シリコン基板内を流れる電流を制御するようになっている請求項 1 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

10. 上記シリコン基板として n 型シリコン基板を用い、上記第 1 及び第 2 のエッチング工程で、上記シリコン基板に光を照射し、該光の強度又は上記シリコン基板への印加電圧を変えることにより上記シリコン基板内を流れる電流を制御するようになっている請求項 2 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

11. 上記シリコン基板として p 型シリコン基板を用い、上記第 1 又は第 2 のエッチング工程で、上記シリコン基板への印加電圧を変えることにより上記シリコン基板内を流れる電流を制御するようになっている請求項 1 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

12. 上記シリコン基板として p 型シリコン基板を用い、上記第 1 又は第 2 のエッチング工程で、上記シリコン基板への印加電圧を変えることにより上記シリコン基板内を流れる電流を制御するようになっている請求項 2 に記載のシリコンデバイスの製造方法。

図1A

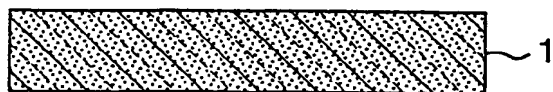


図1B

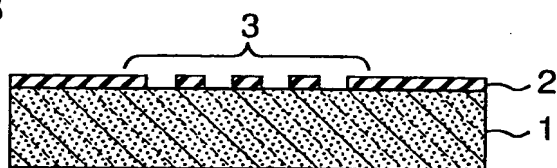


図1C

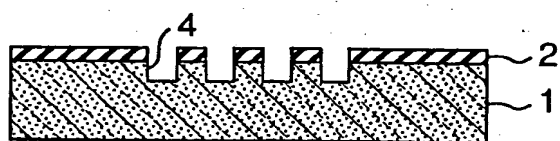


図1D

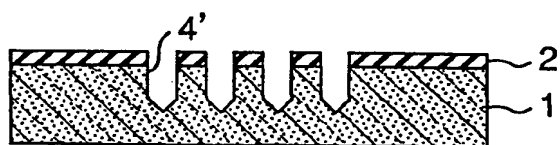
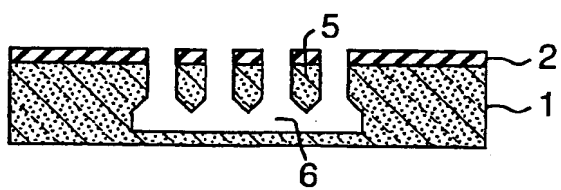


図1E





3/15

図3A

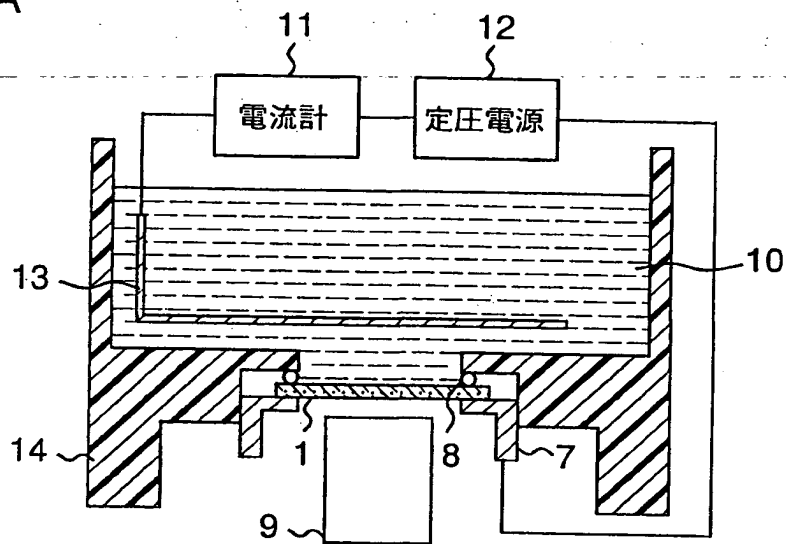
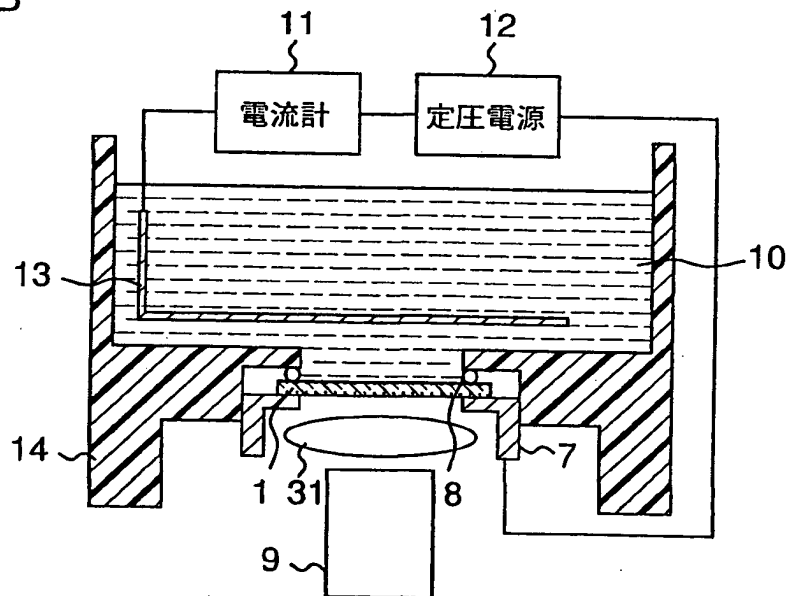


図3B



4/15

図4

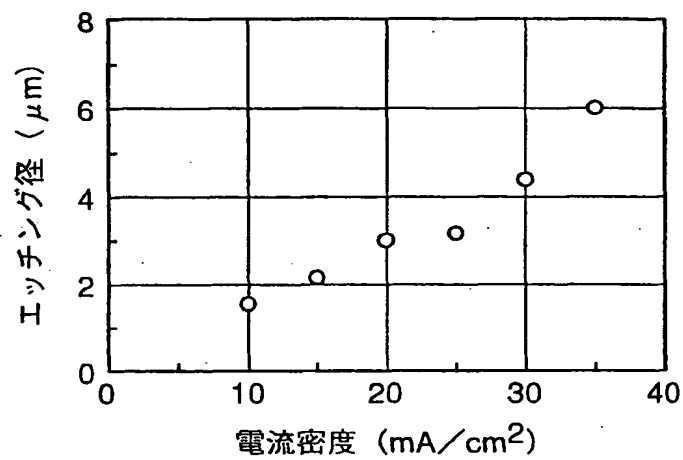


図5

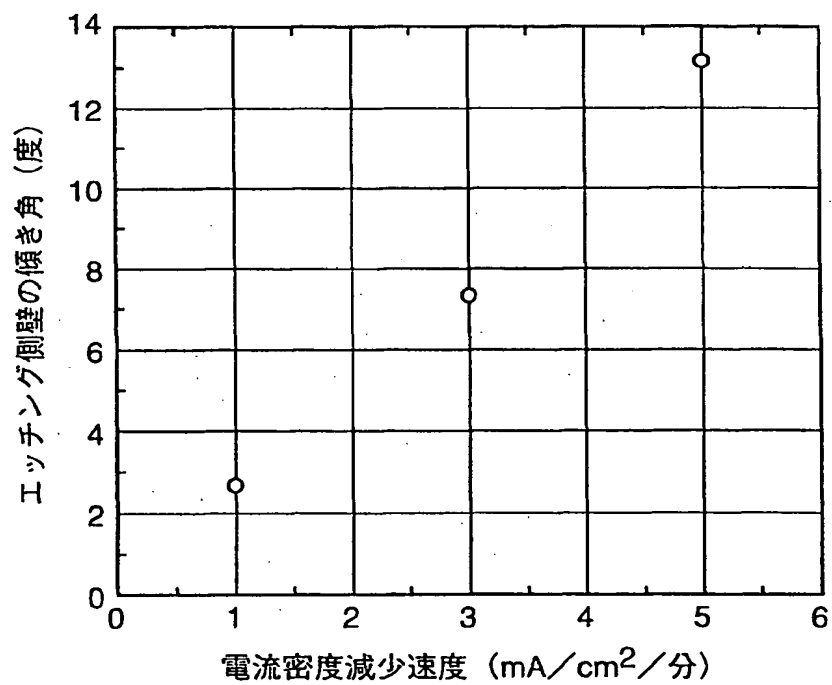


図6A

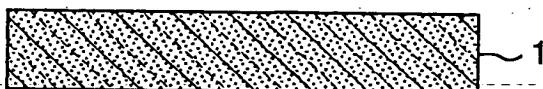


図6B

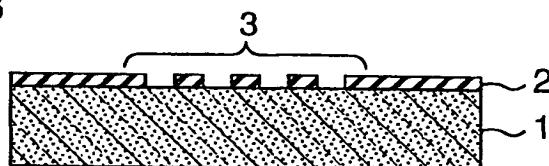


図6C

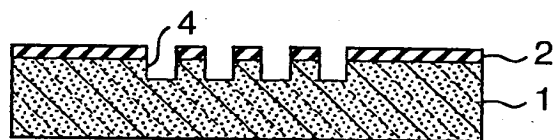


図6D

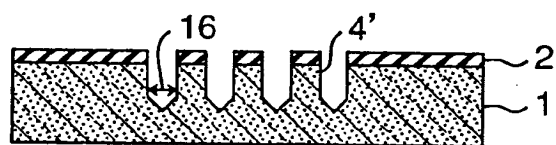


図6E

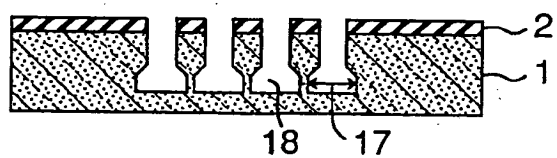


図6F

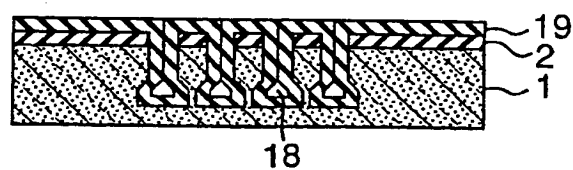


図7A

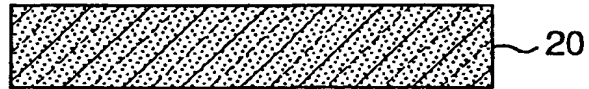


図7B

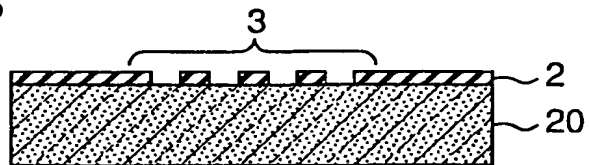


図7C

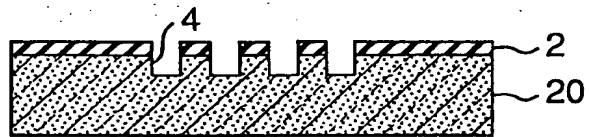


図7D

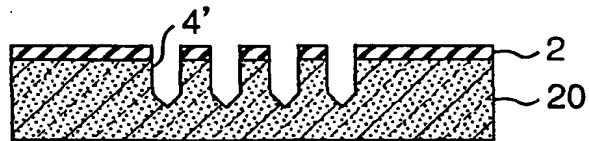


図7E

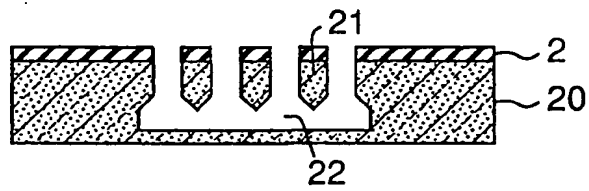


図8

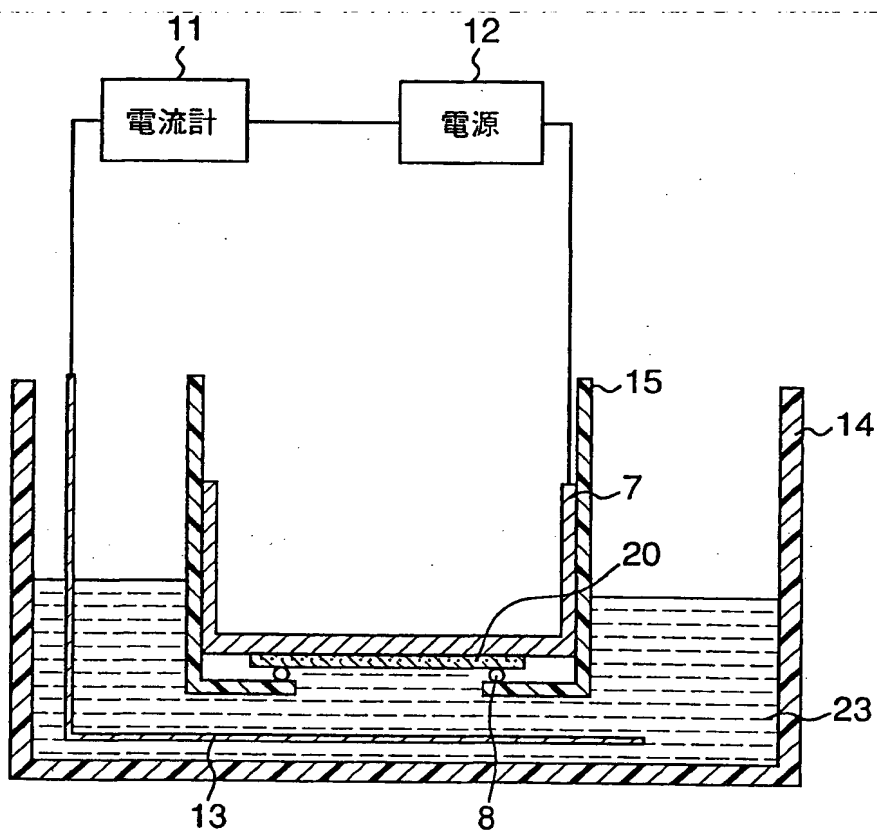




図9

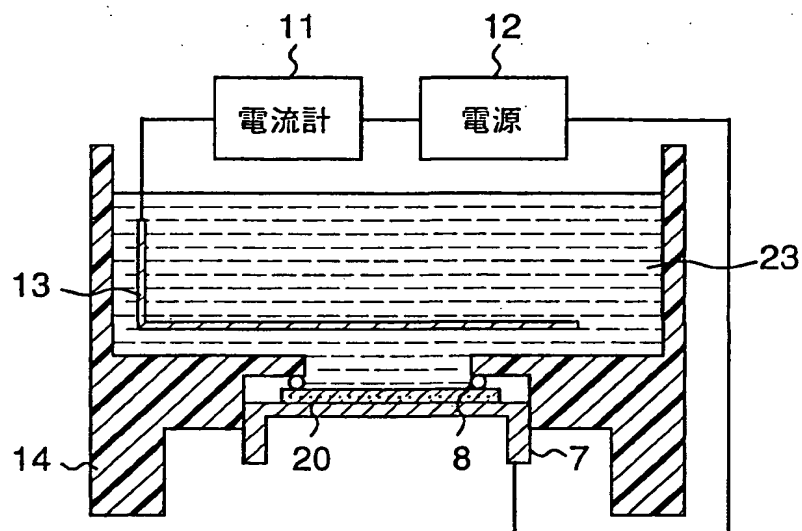


図10A

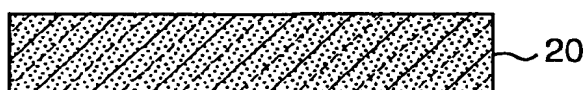


図10B

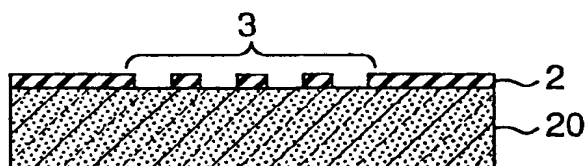


図10C

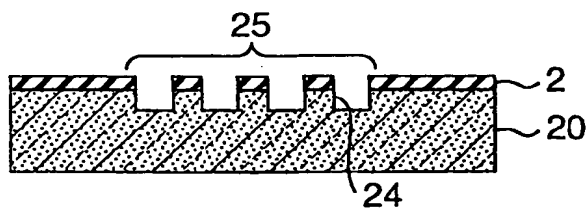


図11A



図11B

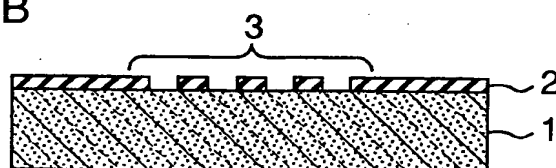


図11C

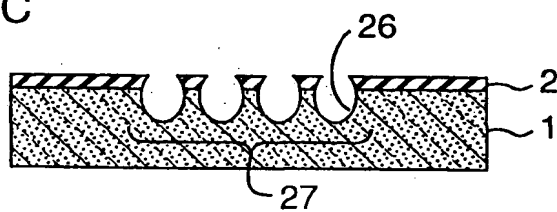


図12A

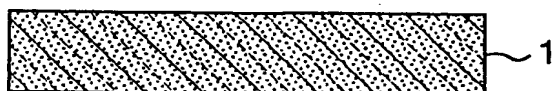


図12B

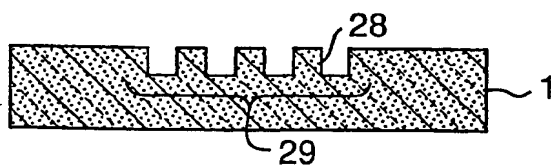


図13A



図13B

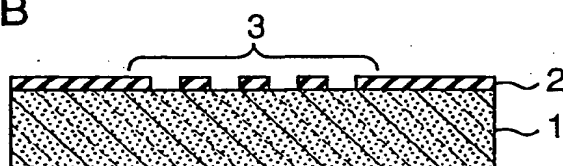


図14A

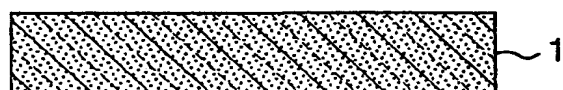


図14B

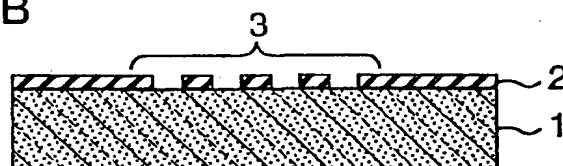


図14C

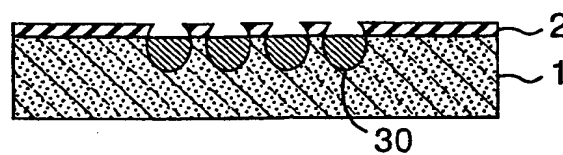


図15A

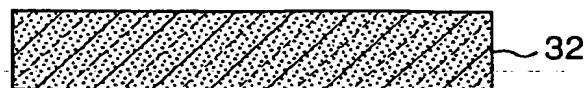


図15B



図15C

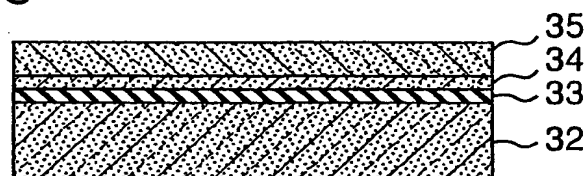


図15D

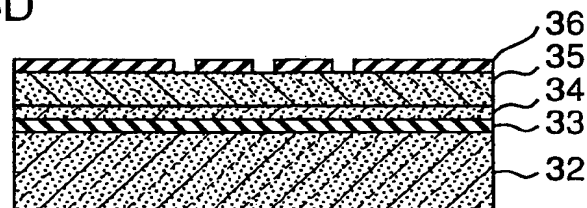


図15E

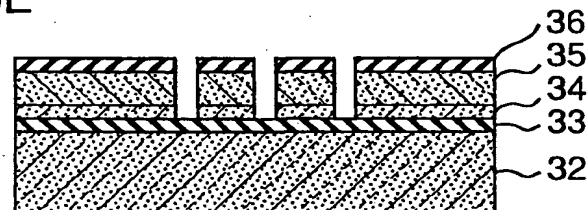
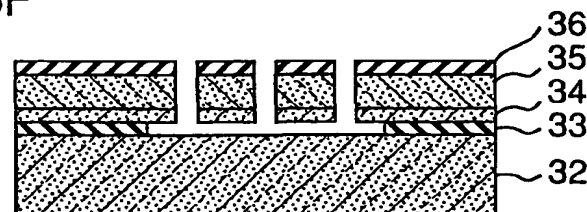


図15F



12/15

図16A

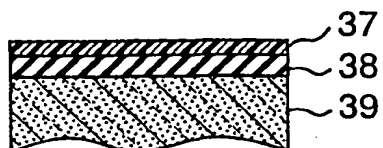


図16B

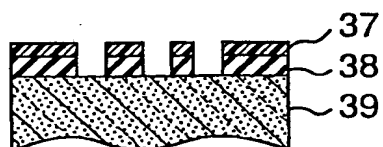


図16C

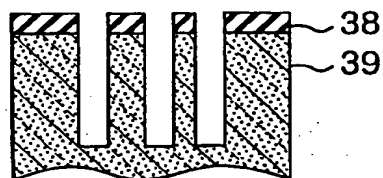


図16D

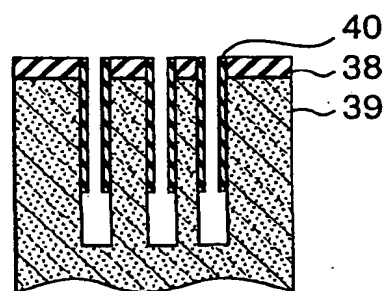


図16E

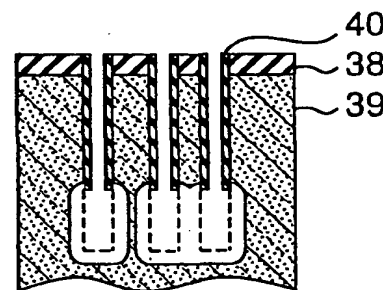
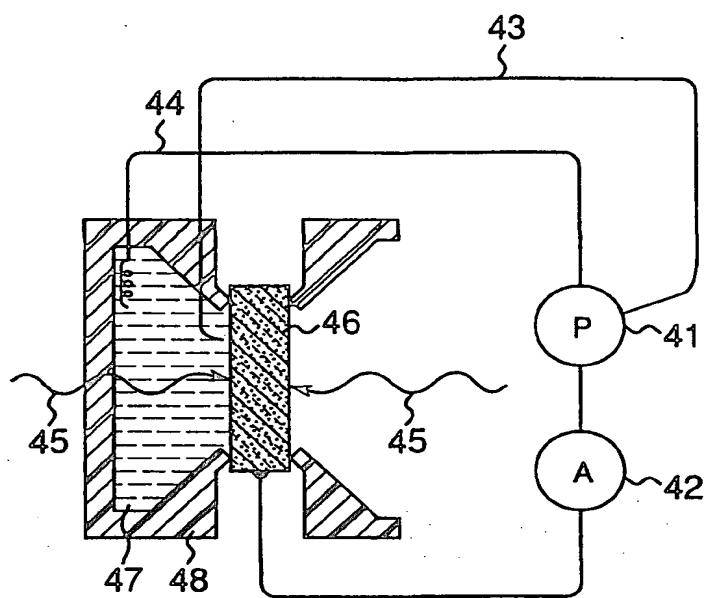


図17



14/15

図18A

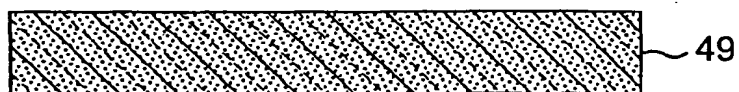


図18B

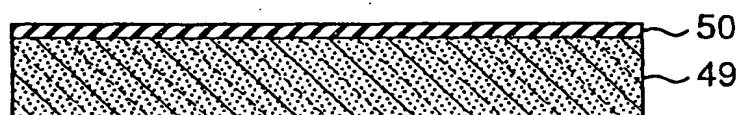


図18C

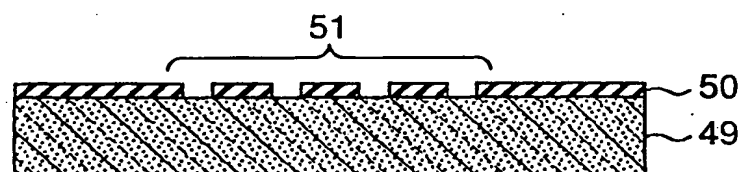


図18D



図18E



図18F



15/15

Figure 19 illustrates a chemical reaction scheme involving a cyclohexadiene derivative (A) and its conversion to a cyclohexane derivative (F) through a series of steps (A) to (F).

The structures are labeled (A) through (F):

- (A) A cyclohexadiene derivative with two double bonds and two hydrogen atoms on the double-bonded carbons.
- (B) A cyclohexadiene derivative with two double bonds and two hydrogen atoms on the double-bonded carbons, with a hydrogen atom and a fluorine atom on the adjacent carbons.
- (C) A cyclohexadiene derivative with two double bonds and two hydrogen atoms on the double-bonded carbons, with a hydrogen atom and a fluorine atom on the adjacent carbons.
- (D) A cyclohexadiene derivative with two double bonds and two hydrogen atoms on the double-bonded carbons, with a hydrogen atom and a fluorine atom on the adjacent carbons.
- (E) A cyclohexane derivative with two fluorine atoms on one carbon and two hydrogen atoms on the adjacent carbons.
- (F) A cyclohexane derivative with two fluorine atoms on one carbon and two hydrogen atoms on the adjacent carbons.

The reaction steps are indicated by arrows and reagents:

- (A) to (B):  $\xrightarrow{h^+}$  and  $\xrightarrow{F^-}$
- (B) to (C):  $\xrightarrow{F^-}$  and  $\xrightarrow{F^-}$
- (C) to (D):  $\xrightarrow{F^-}$  and  $\xrightarrow{F^-}$
- (D) to (E):  $\xrightarrow{F^-}$  and  $\xrightarrow{F^-}$
- (E) to (F):  $\xrightarrow{2HF}$



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/00079

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/3063, H01L29/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/306-21/3063, H01L29/84

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 63-310122, A (Siemens AG.), 19 December, 1988 (19. 12. 88), Full text ; Figs. 1 to 11 & US, 4874484, A & EP, 296348, B1 & DE, 3879771, G & DE, 3717851, A	1-12
A	JP, 5-315316, A (Siemens AG.), 26 November, 1993 (26. 11. 93), Full text ; Figs. 1 to 5 & DE, 4202454, C1 & US, 5262021, A & EP, 553465, B1 & DE, 59202728, G	1-12
A	JP, 5-275724, A (Siemens AG.), 22 October, 1993 (22. 10. 93), Full text ; Figs. 1 to 5 & DE, 4202455, C1 & US, 5306647, A & EP, 553464, B1 & DE, 59203585, G	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 11 March, 1999 (11. 03. 99)	Date of mailing of the international search report 23 March, 1999 (23. 03. 99)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/00079

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP, 6-331452, A (Siemens AG.), 2 December, 1994 (02. 12. 94), Par. Nos. [0041] to [0047] ; Fig. 3 Par. Nos. [0041] to [0047] ; Fig. 3 & DE, 4202455, C1 & US, 5306647, A & EP, 553464, B1 & DE, 59203585, G	1, 3, 5, 7, 9 2, 4, 6, 8, 10-12
X Y	1998 IEEE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEME, 11th, (1998), H. Ohji, P.J. Trimp, P.J. French "FABRICATION OF FREE STANDING STRUCTURE USING SINGLE STEP ELECTROCHEMICAL ETCHING IN HYDROFLUORIC ACID", pp.246-250	1, 3, 5, 7, 8 2, 4, 6, 8, 10-12

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/J P 99/00079

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>8</sup> H01L21/3063, H01L29/84

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>8</sup> H01L21/306-21/3063, H01L29/84

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-1999年

日本国登録実用新案公報 1994-1999年

日本国実用新案登録公報 1996-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 63-31012.2, A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 19. 12月. 1988 (19. 12. 88) 全文, 第1図-第11図 &US, 4874484, A &EP, 296348, B1 &DE, 3879771, G &DE, 3717851, A	1-12
A	J P, 5-315316, A (シーメンス アクチエンゲゼルシャフト) 26. 11月. 1993 (26. 11. 93) 全文, 第1図-第5図 &DE, 4202454, C1 &US, 5262021, A &EP, 553465, B1 &DE, 59202728, G	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11. 03. 99

国際調査報告の発送日

23.03.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

松本 邦夫

印

4M

9545

電話番号 03-3581-1101 内線 6898

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 5-275724, A (シーメンス アクチエンゲゼルシャ フト) 22. 10月. 1993 (22. 10. 93) 全文, 第1図-第5図 &DE, 4202455, C1 &US, 5306647, A &EP, 553464, B1 &DE, 59203585, G	1-12
X Y	JP, 6-331452, A (シーメンス アクチエンゲゼルシャ フト) 2. 12月. 1994 (02. 12. 94) 段落番号 {0041} - {0047}, 第3図 段落番号 {0041} - {0047}, 第3図  &DE, 4202455, C1 &US, 5306647, A &EP, 553464, B1 &DE, 59203585, G	1, 3, 5, 7, 9 2, 4, 6, 8, 10-1 2
X Y	1998 IEEE MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEME, 11th, (1998) , H. Ohji, P. J. Trimp, P. J. French 「FABRICATION OF FREE STANDING S TRUCTURE USING SINGLE STEP ELECTROCHEMICAL ETCHING IN HYDROF LUORIC ACID」, pp. 246-250	1, 3, 5, 7, 8 2, 4, 6, 8, 10-1 2

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001年11月29日 (29.11.2001)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 01/91170 A1

(51) 国際特許分類: H01L 21/3063, C25F 3/12

(21) 国際出願番号: PCT/JP00/03307

(22) 国際出願日: 2000年5月24日 (24.05.2000)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 出尾晋一 (IZUO, Shinichi) [JP/JP]. 大路 浩 (OHJI, Hiroshi) [JP/JP]. 堤和彦 (TSUTSUMI, Kazuhiko) [JP/JP]; 〒100-8310 東

京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). フレンチ パトリック・ジェームス (FRENCH, Patrick James) [IE/NL]; NL-2625 KS デルフト クートラン 40番 Delft (NL).

(74) 代理人: 青山 葆, 外 (AOYAMA, Tamotsu et al.); 〒540-0001 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビル 青山特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): JP, KR, US.

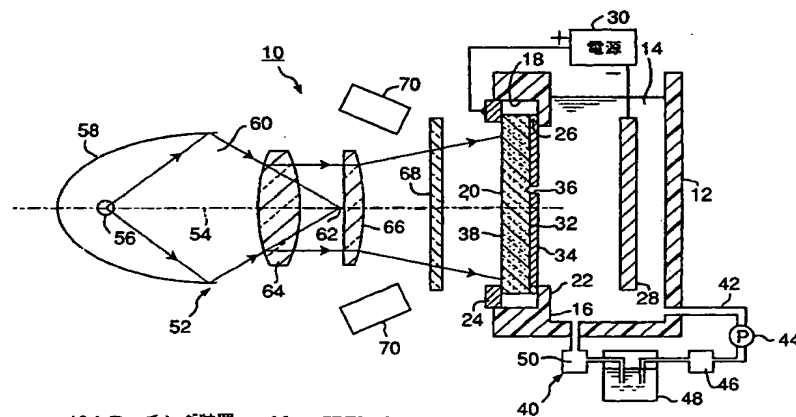
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR RADIATION-ASSISTED ELECTROCHEMICAL ETCHING, AND ETCHED PRODUCT

(54) 発明の名称: 光照射式電気化学エッチング方法及びその装置並びにその製造物



10: エッチング装置  
12: エッチングバス  
14: 電解液  
20: シリコン基板  
52: 背面照明部  
10...ETCHING APPARATUS  
12...ETCHING BATH  
14...ELECTROLYTE  
20...SILICON WAFER  
30...POWER SOURCE  
52...BACK LIGHTING UNIT

(57) Abstract: A radiation-assisted electrochemical etching apparatus (10) comprises an etching bath (12) for supporting an n-type silicon wafer (20) with its one side (32) in contact with hydrofluoric acid (14); an electrode (28) placed in the hydrofluoric acid; a power supply (30) including a positive plate connected with the silicon wafer and a negative plate connected with the electrode; and a lighting unit (52) including a light source (56) to illuminate the other side (38) of the silicon wafer. The lighting unit illuminates the other side of the silicon wafer at the brightness of greater than 10 mW/cm<sup>2</sup>. The maximum to minimum brightness ratio on the other side of the silicon wafer is less than 1.69. The etching apparatus allows pores and trenches of desired shape and size to be formed in the surface of a silicon wafer greater than 3 inches in diameter.

[続葉有]

WO 01/91170 A1

**(57) 要約:**

光照射式電気化学エッチング装置（１０）は、 $n$ 型シリコン基板（２０）の一方の面（３２）をフッ化水素酸溶液（１４）に接触させた状態で保持するエッチングバス（１２）と、フッ化水素酸溶液の中に配置された電極（２８）と、陽極と陰極とを有し、シリコン基板に陽極が接続されると共に電極に陰極が接続される電源（３０）と、シリコン基板の他方の面（３８）を照明するための光源（５６）を有する照明部（５２）とを有する。そして、照明部は、シリコン基板の他方の面を  $10\text{ mW}/\text{cm}^2$  以上の照度で照明する。また、シリコン基板の他方の面における最大照度と最小照度との比が  $1.69$  以下に設定される。このエッチング装置によれば、３インチ以上の径を有するシリコン基板であっても、このシリコン基板の全体に任意の大きさ・形状のボアやトレンチを形成できる。

## 明 細 書

## 光照射式電気化学エッチング方法及びその装置並びにその製造物

## 5 技術分野

本発明は、光照射を利用した電気化学エッチング方法及びその装置に関する。  
特に、本発明は、 $n$ 型シリコン基板の片面を電解液に接触させると共に反対面に  
光を照射し、この光照射によってシリコン基板内を流れるエッチング電流を制御  
しながら、この $n$ 型シリコン基板に所定の大きさ・形状のポア（孔）又はトレン  
10 チ（溝）を形成する光照射式電気化学エッチング装置及びその方法に関する。

また、本発明は、その光照射式電気化学エッチング方法で製造した装置（例え  
ば、半導体製品）に関する。

なお、本発明は、 $n$ 型シリコン基板に50nm以上の径又は幅を有するポア又  
はトレンチを形成する光照射式電気化学エッチング装置及び方法に特に好適に利  
15 用できるものである。しかし、本発明は、ポアやトレンチの大きさによって限定  
されるものでない。

## 背景技術

日本特許公報第2694731号には、光照射を利用して $n$ 型ドーパ・シリコ  
20 ン基板に微小なポアやトレンチを形成する光照射式電気化学エッチング装置が記  
載されている。このエッチング装置はホルダを有する。ホルダは、電解液（フッ  
化水素酸）と $n$ 型ドーパ・シリコン基板（シリコンウェハ）とを、シリコン基板  
の片面が電解液に接触した状態で保持する。ホルダはまた、シリコン基板に対向  
する電極を電解液の中に保持している。このエッチング装置では、シリコン基板  
25 に正極が印加され、電解液中の電極に負極が印加される。また、シリコン基板に  
は、電解液に接する面とは反対の面に、光が照射される。これにより、光照射に  
よって発生したシリコン基板内の正孔が、シリコン基板と電解液との接触部に移  
動し、シリコン基板が溶解する。したがって、一つ又は複数の貫通孔（ピット）  
を有するマスキングバリア（被膜）を、電解液に近接するシリコン基板表面に形

成しておけば、この貫通孔に対応した断面のポア又はトレンチが形成される。

また、ジャーナル・オブ・エレクトロケミカル・ソサイエティ、第140版（1993年10月発行）の第2836～2843頁には、シリコン基板を照明する背面照明装置として、ランプと、ランプから出射された光から赤外線波長の光を除去する赤外線フィルタと、ランプから出射された発散光を平行光にする凸レンズを含むものが記載されている。

さらに、ジャーナル・オブ・エレクトロケミカル・ソサイエティ、第137版（1990年2月発行）の第2836～2843頁には、背面照明装置に100Wのタングステンランプを用いた電気化学エッチング装置が記載されている。

その他、特表平11-509644号には、光照射式電気化学エッチング装置を用いたデバイス製造装置が開示されている。また、特開平11-154737号には、光照射式電気化学エッチング技術によって形成したトレンチ内にキャパシタを製造する装置が開示されている。さらに、ジャーナル・オブ・エレクトロケミカル・ソサイエティ、第137版（1990年2月発行）の第663～659頁には、上述したエッチング技術によって、20mm×20mmの大きさのシリコン基板に孔またはトレンチを形成した例が記載されている。

しかし、光照射型電気化学エッチング装置を用いて各種デバイスを量産するには、このエッチング装置は大径シリコン基板（例えば、3インチ以上のシリコン基板）のほぼ全面をほぼ一様にエッチングしてほぼ一様な大きさ・形状のポア又はトレンチを形成できるものでなければならない。

ところで、日本特許公報第2694731号に記載の装置と、ジャーナル・オブ・エレクトロケミカル・ソサイエティ、第140版に記載の100Wタングステンランプを用いて3インチのシリコン基板のほぼ全面に一様な大きさのポアを形成すべく実験を試みた。しかし、エッチング後のシリコン基板を顕微鏡で拡大して観察したところ、シリコン基板の一部だけにポアが形成され、ポアの出来ない領域が存在した。また、出来あがったポアの大きさ・形状もまちまちであった。その後、電圧、電流、ランプ発光量を色々変えて更なる実験を行なったが、シリコン基板の全体にほぼ均一な大きさのポアを形成することが出来なかった。

そこで、本発明は、3インチ以上のn型シリコン基板の表面に均一の大きさ



(深さ、断面)の孔やトレンチを形成できる光照射式電気化学エッチング方法及び装置を提供することを目的とする。

また、本発明は、そのような光照射式電気化学エッチング方法で製造された装置(例えば、半導体装置、加速度センサ等のセンサ)を提供することを目的とする。

#### 発明の概要

この目的を達成するため、本発明の光照射式電気化学エッチング装置の一つの形態において、光照射式電気化学エッチング装置は、 $n$ 型シリコン基板を該 $n$ 型シリコン基板の光照射面の照度が $10\text{ mW/cm}^2$ 以上となるように光を照射する光源を備えた照明部を有する。この形態によれば、シリコン基板が3インチ以上の径を有するものであっても、このシリコン基板に形成されるポアやトレンチは光照射面に向け、均一の断面をもって成長する。また、形成されたポアやトレンチの表面は平滑である。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態では、シリコン基板の光照射面において、最小照度に対する最大照度の比(最大照度/最小照度)が、1.69以下である。この形態によれば、シリコン基板が3インチ以上の径を有するものであっても、シリコン基板内を流れるエッチング電流が均一となり、そのために、形成されたポアやトレンチの大きさ(断面、深さ)がほぼ一定する。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態では、参照電極がフッ化水素酸の中に配置される。また、参照電極と $n$ 型シリコン基板との間には高インピーダンスの電圧検出器が電氣的に接続される。この形態によれば、参照電極とシリコン基板との間の電位差を調整することにより、シリコン基板に印加される電圧を制御できる。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態では、照明部が、シリコン基板の他方の面における照度を調整する照度調整部を有する。この形態によれば、シリコン基板に形成されるポアやトレンチの大きさを任意に変えることができる。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態において、照度調整部は

光源の発光量を調整する。この形態によれば、シリコン基板の照度を精密に調整できる。

5 本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態は、照度調整部は、光源とシリコン基板との間に配置され、光源で発光された光を変調する変調器を有する。この形態によれば、光源がその発光量が調整できない場合でも、シリコン基板の照度を調整できる。

10 本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態は、電源からシリコン基板に印加される電流を検出する電流検出器と、電流検出器で検出された電流をもとに光源の発光量を調整する回路を有する。この形態によれば、シリコン基板のエッチングを精密に制御できる。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態は、フッ化水素酸の状態（例えば、濃度、温度）を一定に保つ装置を有する。この形態によれば、フッ化水素酸溶液を安定した状態に保つことができ、そのために、シリコン基板に形成されるポアやトレンチの大きさが安定する。

15 本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態は、シリコン基板の他方の面上に配置された金属板を有する。この金属板は、照明部からシリコン基板の他方の面に向けて進む光を透過する複数の開口部が規則的に配列されている。このエッチング装置によれば、シリコン基板の他方の面を一樣の照度で照明でき、シリコン基板に均一な電圧を印加できる。

20 本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態では、金属板が、導電性金属で形成されており、シリコン基板の他方の面に接して配置されている。この形態によれば、金属板を介して電源とシリコン基板を電氣的に接続できる。

25 本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態は、金属板がシリコン基板の他方の面に一体的に形成されている。このエッチング装置によれば、金属板を、物理的又は化学的薄膜形成技術と、半導体製造プロセスであるリソグラフィ技術を用いて精密に形成できる。また、開口部の微細加工が可能である。

本発明の光照射式電気化学エッチング装置の他の形態では、金属板がシリコン基板とは別に形成されている。この形態によれば、シリコン基板の製造プロセスが簡略化できる。

また、本発明の光照射式電気化学エッチング方法は、n型シリコン基板の一方の面を電解液に接触させると共に反対面に光を照射し、この光照射によってエッチング電流を制御しながら、シリコン基板の一方の面に孔又はトレンチを形成する方法において、シリコン基板の他方の面を $10\text{ mW/cm}^2$ 以上の照度で照明するものである。

本発明の他の形態の電気化学エッチング方法は、複数の開口部を規則的に配列した金属板を上記n型シリコン基板の他方の面上に配置し、上記複数の開口部を介して上記n型シリコン基板の他方の面に光を照射するものである。

本発明の他の形態の電気化学エッチング方法は、シリコン基板の他方の面における最大照度と最小照度との比を1.69以下とするものである。

これらの方法によれば、シリコン基板が3インチ以上の径を有するものであっても、シリコン基板のほぼ全域に、ほぼ一定の大きさの孔やトレンチを均一に形成できる。

本発明の別の光照射式電気化学エッチング方法は、n型シリコン基板の一方の面を電解液に接触させると共に反対面に光を照射し、この光照射によってエッチング電流を制御しながら、上記シリコン基板の一方の面に孔又はトレンチを形成する光照射式電気化学エッチング方法において、上記シリコン基板の他方の面を $10\text{ mW/cm}^2$ 以上の第1の照度で照明しながら、上記一方の面から他方の面に向けて、複数の孔又はトレンチを形成する第1の工程と、第1の工程の後、上記シリコン基板の他方の面を上記第1の照度よりも高い照度で照明しながら、第1の工程で形成された複数の孔又はトレンチを横方向に拡幅して上記複数の孔又はトレンチを相互に連結する第2の工程とを有する。この方法によれば、垂直方向に形成した複数の孔を、これらの孔の底部で相互に連結することができる。

以上、本発明に係る光照射式電気化学エッチング装置および方法によれば、精密に孔やトレンチの形状が制御できる。さらに、大きな面積の基板をエッチングできる。そのため、本発明の光照射式電気化学エッチング装置および方法を用いて形成されたデバイスは、精密に孔やトレンチの形状が制御されているので、性能がよく、コストも安い。

## 図面の簡単な説明

図 1 は、実施の形態 1 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

図 2 A から図 2 D は、実験 2 でシリコン基板に形成されたポアの断面形状、径、及び照度を示す図。

5 図 3 は、シリコン基板の背面に配置されるグリッド電極層を誇張して示すシリコン基板の平面図。

図 4 は、図 3 の V-V 線断面図で、シリコン基板の背面に配置されるグリッド電極層を誇張して示す図。

図 5 は、実施の形態 2 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

10 図 6 は、実施の形態 3 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

図 7 は、実施の形態 4 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

図 8 は、実施の形態 5 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

図 9 は、実施の形態 6 にかかる光照射式電気化学エッチング装置の概略断面図。

15 図 10 は、実施の形態 7 に係る光照射式電気化学エッチング装置に利用されるグリッド電極板を模式的に表した正面図。

図 11 は、実施の形態 8 の光照射式電気化学エッチング方法により製造される加速度センサの斜視図。

図 12 (a) ～図 12 (e) は、実施の形態 8 の光照射式電気化学エッチング方法の工程を説明する図。

20 図 13 は、実施の形態 9 の光照射式電気化学エッチング方法により製造される光導波体の斜視図。

図 14 (a) ～図 14 (e) は、実施の形態 9 の光照射式電気化学エッチング方法の工程を説明する図。

## 25 発明を実施するための最良の形態

図面を参照し、本発明の好適な実施形態について説明する。なお、複数の図面において同一の符号は同一の部材又は部分を示す。

### 実施の形態 1

図 1 は、本発明にかかる実施の形態 1 の n 型シリコン基板（すなわち、シリコンウェハ）の光照射式電気化学エッチング装置 10 を示す。このエッチング装置 10 は、5 重量%のフッ化水素酸からなるエッチング電解液 14 を收容するためのエッチングバス 12 を有する。エッチングバス 12 は、エッチング電解液 14 に接する表面部分が、フッ化水素酸に耐性を有する適当な材料（例えば、ポリテトラフロオロエチレン）で被覆されている。当然、エッチングバス 12 を、フッ化水素酸に耐性を有する適当な材料で形成してもよい。

エッチングバス 12 は、その側壁 16 に円形の開口部 18 が形成され、この開口部 18 に円形の n 型シリコン基板 20 を收容するようにしてある。また、側壁 16 は、開口部 18 の内側周縁に沿って伸び且つ該周縁から開口部 18 の内方に向けて突出する環状突起部 22 を有する。開口部 18 の内側でシリコン基板 20 を安定して保持するために、開口部 18 に收容されたシリコン基板 20 の背後には固定リング 24 が配置され、この固定リング 24 によってシリコン基板 20 が環状突起部 22 に押し付けられる。環状突起部 18 とシリコン基板 20 との間から電解液 14 が漏れないようにするために、これら環状突起部 18 とシリコン基板 20 との間には適当なシール部材、例えば O リング 26 を設けるので好ましい。

電解液 14 の中には、開口部 18 に收容されたシリコン基板 20 に対向するように、電極 28（陰極電極）が配置される。もう一つの電極（陽極電極）はシリコン基板 20 である。これら電極 28 とシリコン基板 20 は、それぞれ直流電源 30 の陰極と陽極にそれぞれ電氣的に接続され、適当な電圧が電極 28 とシリコン基板 20 との間に印加できるようにしてある。シリコン基板 20 を電源 30 に接続するために、シリコン基板 20 を支持している固定リング 24 を導電材料で形成するのが好ましい。

シリコン基板 20 の電解液 14 に近接する一方の表面 32 は、この表面 32 の上に適当なマスク材料（例えば、シリコン窒化物、白金、金）を適当な薄膜形成技術（例えば、化学的又は物理的气相成長法）で成膜したレジストマスク（マスクバリア）34 で覆われている。シリコン基板表面 32 には、シリコン基板 20 のエッチングパターンに対応した一つ又は複数のピット 36 が形成されており、このピット 36 に臨むシリコン基板部分の溶解が始まり、シリコン基板 20 の他

方の面38に向かってポア又はトレンチが形成される。このピット36は、適当なウェットエッチング又はドライエッチング若しくはレーザ加工により形成することができる。

5 エッチング装置10は、電解液ユニット40を有する。この電解液ユニット40は、両端をエッチングバス12に接続した循環路(管)42を有する。循環路42には、この循環路42に沿って電解液14を循環するためのポンプ44と、循環路42の中を流れる電解液14から不純物を除去するフィルタ46と、エッチングバス12に收容されている電解液14の量を一定に維持するためのバッファ部48と、エッチングバス12に收容されている電解液14の温度を一定に保つための恒温器50を有する。この電解液ユニット40によれば、エッチングバス12に收容されている電解液14の品質を一定に保つことができる。その結果、後に説明するシリコン基板20のエッチングを安定して行なうことができる。

10 エッチング装置10はまた、背面照明部52を有する。この背面照明部52は、シリコン基板20において、このシリコン基板20の中で発生する正孔を、局部的な溶解が起こるポアの先端に集中させるためのものである。背面照明部52は、  
15 エッチングバス12の円形開口部18の中心軸54上に配置された照明光源(例えば、タングステンランプ)56と、半楕円状断面の反射部(ミラー58)とを有し、このミラー58の開口部60がエッチングバス12の円形開口部18に向けられている。ミラー58の内側の曲率は、ランプ54から出射されてミラー5  
20 8で反射した光が、中心軸54の所定位置(焦点)62で結像するように決められている。コリメータレンズ64は、ミラー58の開口部60に対向して配置され、ミラー58からの光がコリメータレンズ64によって平行な光となるようにしてある。凸レンズ66は、コリメータレンズ64とシリコン基板20との間に配置されており、平行となった光がシリコン基板20に向けて発散され、これにより電解液14に隣接するシリコン基板部分に対向するシリコン基板背面部分が  
25 照明されるようにしてある。シリコン基板20の加熱を防止するために、図1に示すように、所定波長の光(例えば、波長1.1 $\mu$ m以上)を除去するためのフィルタ68を設けるのが好ましい。また、シリコン基板20の近傍に、該シリコン基板を冷却するための適当なファン70を設けてもよい。

このように構成されたエッチング装置 10 の動作について簡単に説明する。シリコン基板 20 は、エッチングバス 12 の開口部 18 に固定される。また、電解液 14 がエッチングバス 12 に充填される。さらに、電極 28 とシリコン基板 20 との間に、電源 30 から所定の電圧が印加される。そして、照明部 52 によってシリコン基板 20 の背面 38 が照明される。その結果、シリコン基板 20 の中に発生した正孔がピット 36 に露出したシリコン基板部分に集中する。その結果、この露出部分で局所的な溶解が始まり、シリコン基板 20 の背面 38 に向って真っ直ぐにポアが進行していく。

## 10 実験 1

照明照度と出来あがったポアの形状との関係性を評価するための実験を行なった

### (1) 実験条件

実験の条件は以下の通りである。

#### i. シリコン基板

- 15            外径 : 76 mm  
             シリコン基板の厚さ : 625  $\mu$ m  
             レジストマスクの厚さ : 5000 Å  
             ピット内径 : 2  $\mu$ m

#### i i. 電解液

- 20            5 重量%フッ化水素酸溶液

#### i i i. 照度

0、5、10、20、50、100、200 mW/cm<sup>2</sup>

なお、照度は、シリコン基板の背面上において、校正波長 760 nm に設定されたパワーメータ（アドバンテスト社製 光マルチパワー Q8221）を使用した。

#### i v. 印加電圧（対向電極対するシリコン基板の電位）

2.0 ボルト、4.0 ボルト

#### v. エッチング時間

20 分

## (2) 評価

エッチング後のシリコン基板を切断し、その切断面を顕微鏡で拡大してポアの形状を観察した。また、顕微鏡で拡大された断面を写真撮影した。そして、撮影された写真を利用して、出来あがったポアの径を測定した。なお、ポア径は、シリコン基板の表面から  $5\ \mu\text{m}$  だけ離れた位置で測定した。

## (3) 実験結果

試験の結果を以下の表 1 に示す。

表 1

照度 ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ )	印加電圧	
	2. 0 ボルト	4. 0 ボルト
0	C	C
5	B	B
10	A	A
20	A	A
30	A	A
50	A	A
100	A	A
200	A	A

表 1 において、A、B、C は、以下の内容を代表するものである。

A : 出来あがったポア径は  $50\ \text{nm}$  以上。各ポアは、内面が平滑で、シリコン基板の背面に向けて真っ直ぐ進行していた。

B : 出来あがったポア径は  $50\ \text{nm}$  以下。各ポアは、シリコン基板の背面に向けて斜めに進行していた。

C : ポアは形成されなかった。

## (4) 結論

この表 1 より、ポアの形成に背面照明が重要な意義を有すること、また、シリコン基板の背面に向けて真っ直ぐに進む均一な断面のポアを形成するためには、シリコン基板における照度を、電極とシリコン基板との間に適当な電圧を保った状態で、 $10\ \text{mW}/\text{cm}^2$  にしなければならないこと、が判明した。

ところで、シリコン基板の背面全体を  $10\ \text{mW}/\text{cm}^2$  の照度で照明するためには、 $1.0\ \text{kW}$  のキセノンアークランプが光源ランプとして好適に利用できる。



タングステンランプ、水銀ランプ等のように、 $10\text{ mW}/\text{cm}^2$ の照度をもって照明し得る他のランプを使用してもよい。

なお、シリコン基板と電極との間に大きな電圧を印加すれば、背面照明が無くても、シリコン基板に $50\text{ nm}$ 以上の径を有するポアを形成できる。しかし、このエッチングメカニズムは、本発明にかかる光照明式電気化学エッチングとは異なるものである。

## 実験 2

一つのシリコン基板における照度の違いが、同一のシリコン基板に形成されるポアの形状に及ぼす影響を評価するための実験を行なった

### (1) 実験条件

実験の条件は以下の通りである。

#### i. シリコン基板

シリコン基板の枚数：4枚

外形径： $76\text{ mm}$

シリコン基板の厚さ： $625\text{ }\mu\text{m}$

レジストマスクの厚さ： $5000\text{ }\text{\AA}$

ピット内径： $2\text{ }\mu\text{m}$

#### i i. 電解液

5重量%フッ化水素酸溶液

#### i i i. 照度

各シリコン基板背面上で照度を測定し、最大照度の場所と最小照度の場所を特定した。照度測定に用いた装置は、実験1と同一である。

#### i v. 印加電圧（対向電極対するシリコン基板の電位）

2.0ボルト

#### v. エッチング時間

20分

### (2) 評価

エッチング後のシリコン基板を切断し、その切断面を顕微鏡で拡大してポアの

形状を観察した。また、顕微鏡で拡大された断面を写真撮影した。そして、撮影された写真を利用して、最大照度と最小照度の場所に形成されたポアの径を測定した。なお、ポア径は、シリコン基板の表面から  $5\ \mu\text{m}$  だけ離れた位置で測定した。

### 5 (3) 実験結果

実験の結果を図 2 A から図 2 D に示す。これらの図に示す通り、同一シリコン基板背面における最大照度  $I_{\text{MAX}}$  と最小照度  $I_{\text{MIN}}$  との比 ( $= I_{\text{MAX}} / I_{\text{MIN}}$ ) が 1.96、2.25 の場合、形成されたポアの大きさ (形状・深さ) は著しく相違した。また、最大照度の場所に形成されたポアは、底部に向かって次第に拡大

10

していた。

一方、最大照度と最小照度との比が 1.69 の場合、ポア径に僅かな違いは見られたが、ポアの深さはほぼ同一であった。また、形成されたポアの内面はほぼ平滑であった。同様に、最大照度と最小照度との比が 1.21 の場合、ポアの大きさはほぼ同一であった。また、ポアの内面はほぼ平滑であった。

15

### (4) 結論

上記実験 2 の結果より、径が 3 インチ以上のシリコン基板であっても、同一シリコン基板の背面における最大照度と最小照度との比率を 1.69 以下にすれば、ほぼ同一の径を有するポア又はトレンチが、シリコン基板の全体に均一に形成で

20

### 改良例又は変形例

図 3 と図 4 は、シリコン基板 20 を示す。このシリコン基板 20 は、背面照明部 52 に対向する他方の面 38 に、公知のドナーイオン注入技術によってイオンが注入された  $n^+$  層 80 を有する。また、 $n^+$  層 80 の上には、導電金属からなる金属層 (金属板又はグリッド金属層) 82 が設けてある。この金属層 82 は、図 3 に示すように、格子形とするのが好ましい。このグリッド金属層 82 は、例えば化学的又は物理的气相成長法などの薄膜形成技術により導電金属を付着させ、次に、例えばフォトリソグラフィ技術などの加工技術によってグリッド 84 を残

25

し、グリッド 8 4 間に開口部 8 6 を形成するのが好ましい。

このような形に形成されたグリッド金属層 8 2 は、n 型シリコン基板 2 0 とグリッド金属層 8 2 との間の接触抵抗が小さく、そのために、グリッド金属層 8 2 に接するシリコン基板 2 0 の全領域に、該グリッド金属層 2 0 から均一な電圧を印加できる。

グリッド 8 4 の間に形成された開口部 8 6 の幅は、特定の値に限定されるものでないが、シリコン基板 2 0 の厚さよりも小さくすべきである。これは、開口部 8 6 の間に位置するグリッド 8 4 の幅が大きくなると、シリコン基板 2 0 の照度が減少し、これにより、シリコン基板 2 0 の内部に形成された正孔の集中度が低下するからである。

本発明者らの行なった実験より、 $90\text{ }\mu\text{m}$ の間隔（インターバル）で、 $10\text{ }\mu\text{m}$ の幅のグリッド 8 4 を設けた場合、シリコン基板 2 0 に均一な電圧を印加でき、その結果、照度低下に起因する問題を解消できることが確認された。

なお、電極 2 8 を白金で形成した場合、電極 2 8 とシリコン基板 2 0 との間に印加される電圧は、n 型シリコン基板 2 0 が電極 2 8 よりも +1 ボルトから +4 ボルトの範囲で設定するのが好ましい。この場合、ポアやトレンチは、シリコン基板に効率良く形成できる。

## 実施の形態 2

図 5 は、本発明の実施の形態 2 にかかる他の光照射式電気化学エッチング装置 9 0 を示す。このエッチング装置 9 0 において、背面照明部 9 2 は、複数のランプ 9 4 を有する。これら複数のランプ 9 4 は、シリコン基板 2 0 の中心軸に垂直な面（シリコン基板 2 0 に平行な面）上で格子状に配置されている。したがって、このエッチング装置 9 0 によれば、シリコン基板 2 0 の背面は均一に照明される。また、複数のランプ 9 4 は、最大照度／最小照度の比が 1.69 以下となるように、容易に配置できる。

## 実施の形態 3

図 6 は、本発明の実施の形態 3 にかかる他の光照射式電気化学エッチング装置

100を示す。このエッチング装置100において、参照電極102は、シリコン基板20と電極28との間で、電解液14の中に配置されている。参照電極102は、シリコン基板20に印加される電圧を測定するために、電圧検出器（電圧計104）を介して電源30に電氣的に接続されている。電圧計104は、参照電極102とシリコン基板20との間に高インピーダンスを有するように設計するのが好ましい。このエッチング装置100の動作において、電源30は、電圧計104に一定の電圧が流れるように制御される。これにより、シリコン基板20と電極28との間に一定の電流を流すことができる。

なお、参照電極102は、シリコン基板20に出来るだけ接近して、しかし接触することなく、配置するのが好ましい。これにより、参照電極102とシリコン基板20との間の電解液14による抵抗を小さくできる。また、シリコン基板20に印加される電圧が正確に検出でき、それにより、ポアやトレンチの形を正確に制御できる。

#### 実施の形態4

図7は、本発明の実施の形態4にかかる他の光照射式電気化学エッチング装置110を示す。このエッチング装置110において、照明ランプ56は、照明されるシリコン基板20の照度を変えるための電圧制御部112に電氣的に接続されている。このエッチング装置110によれば、電源30からシリコン基板20に供給されるエッチング電流は照度に比例するので、電圧制御部112でランプ56に印加する電圧を変えることでシリコン基板20の照度を変え、これにより形成されるポアやトレンチの大きさを変えることができる。また、このエッチング装置110によれば、まず一様断面のポアを形成し、次に、照度及びエッチング電流を増加することで、拡大されたキャビティ又は拡大断面を底部に有するポアやトレンチを容易に形成できる。

#### 実施の形態5

図8は、本発明の実施の形態5にかかる他の光照射式電気化学エッチング装置120を示す。このエッチング装置120は、凸レンズ66とフィルタ68との

間に、2つの偏光装置又は偏光フィルタ122、124を有する。これら2つの偏光フィルタ122、124の一方は、シリコン基板20の中心軸54の周りで、他方に対して回転自在としてある。したがって、一方の偏光フィルタを他方の偏光フィルタに対して回転することで、2つの偏光フィルタ122、124を透過する光が調整され、シリコン基板20の照度が変わえられる。そのため、回転可能な偏光フィルタを回転することで、ランプ56の発光量を変えなくとも、シリコン基板20に形成されるポアやトレンチの大きさを変更できる。

なお、本実施形態において、回転自在な偏光フィルタは、中心軸54の周りで偏光フィルタを回転させる駆動部（例えば、モータ）126に接続すると共に、この駆動部126を制御部128に接続してもよい。この場合、制御部128からの制御によって駆動部126を駆動し、これにより偏光フィルタを所望の位置に設定することができる。

#### 実施の形態6

図9は、本発明の実施の形態6にかかる他の光照射式電気化学エッチング装置130を示す。このエッチング装置130において、照明ランプ56は、このランプ56に印加する電圧を制御する電圧制御部132に電氣的に接続されている。また、電流検出器（電流計134）は、電源30からシリコン基板20に印加されるエッチング電流を検出するために、これら電源30とシリコン基板20の間に電氣的に接続されている。そして、これら電圧制御部132と電流計134は、フィードバック回路136を介して電氣的に接続されている。

このエッチング装置130によれば、フィードバック回路136が、電流計134で検出されたエッチング電流を読み取る。次に、フィードバック回路136は、電圧制御部132に指令を送り、シリコン基板20の照度を変更する。照度が変わると、エッチング電流が変化し、シリコン基板20に形成されるポアやトレンチの形が変わる。したがって、このエッチング装置130によれば、シリコン基板20の照度を制御することで、エッチング電流を一定に保ち、ポアやトレンチを正確に形成できる。

なお、フィードバック回路136は、実施の形態6で説明した偏光フィルタの

位置制御部に電氣的に接続してもよい。この場合、フィードバック回路 136 からの指令により偏光フィルタを回転し、これによりシリコン基板の照度を精密に制御できる。

## 5 実施の形態 7

実施の形態 1 では、グリッド金属層をシリコン基板の背面に一体的に成形した。しかし、グリッド金属層は、シリコン基板から分離可能な独立した部品として形成してもよい。具体的に図 10 は、グリッド金属板 140 を示し、このグリッド金属板 140 は導電性金属で形成されている。グリッド金属板 140 におけるグリッド 142 の幅、開口部 144 の大きさは、上述したように、グリッド 142 の幅がシリコン基板の厚さよりも小さくするのが好ましい。

使用時、グリッド金属板 140 は、シリコン基板の背面に密着して配置され、適当な固定具により固定される。

なお、グリッド金属板 140 は、シリコン基板をエッチングバスに対して固定する固定リングと一体的に形成するのが好ましい。この場合、グリッド金属板 140 をシリコン基板の背面に容易に固定できる。

## 実施の形態 8

図 11 は、本発明の光照射式電気化学エッチング装置を用いて製作された加速度センサ 150 を示す。この加速度センサ 150 は基台 152 を有する。基台 152 は、この基台 152 から垂直に伸びる壁部 154 を有する。壁部 154 は、基台 152 と所定の間隔をあけて平行に伸びる複数の片持ち梁状の変形部 156 を有する。これら基台 152、壁部 154、および変形部 156 は、後に詳細に説明するように、本発明の光照射式電気化学エッチング法を利用し、一つのシリコン基板を加工し、一つの一体成形品 158 に形成されている。また、各変形部 156 には、この変形部 156 の変形量を測定するために、歪み測定部（例えば、ピエゾ抵抗体 160）が適宜取り付けられる。この加速度センサ 150 によれば、加速度センサ 150 に加速度が作用すると変形部 156 が加速方向と反対側に曲がる。そして、変形部 156 の変形量は、ピエゾ抵抗体 160 の抵抗値の変化と

して検出される。

次に、図12(a)～(e)を参照し、シリコン基板から成形品158を得る工程を説明する。まず、所定の厚みを有するn型シリコン基板162〔図12

(a)参照〕を用意する。次に、例えばCVD法により、n型シリコン基板162の片面に、窒化シリコン膜164を堆積する。続いて、図11における変形部156の先端部および側面に隣接する空間を形成するために、これらの空間（又は変形部）の平面形状に対応する膜部分を、例えば、光リソグラフィ法により除去し、パターン溝166を形成する。その後、図12(b)に示すように、パターン溝166に露出するシリコン基板部分には、アルカリ水溶液を用いたウェットエッチング、又は反応性イオンエッチングにより、エッチング開始点となるピット168が形成される。

次に、窒化シリコン膜164を有するシリコン基板162を、上述した光照射式電気化学エッチング装置に取り付け、シリコン基板162をエッチングする。このとき、シリコン基板162は、窒化シリコン膜164およびパターン溝166がエッチング電解液であるフッ化水素酸と接するように配置され、シリコン基板162の背面から光が照射される。対向電極には白金電極を利用できる。

エッチングは、2段階に分けて行なわれる。まず、第1のエッチング工程では、例えば、白金電極に対してシリコン基板を+2ボルトの電位に設定し、平均照射光量を $70\text{ W/cm}^2$ 、最大光量と最小光量の比が1.69以下の条件に設定する。これにより、図12(c)に示すように、シリコン基板162には、パターン溝166に対応して、シリコン基板162の背面に向かって垂直トレンチ170が形成される。この第1のエッチング工程は、約15分間行なわれる。

次に、第2のエッチング工程では、平均照射光量が $200\text{ W/cm}^2$ まで上げる。その他の条件は、第1のエッチング工程と同一である。その結果、図12(d)に示すように、垂直トレンチ170の底部が水平方向に拡幅され、隣接する垂直トレンチ170を相互に連結する水平トレンチ172が形成されて、個々の変形部156が形成される。

最後に、必要ならば、窒化シリコン膜164が、エッチング等により除去される。なお、図面を簡略化するために、図11と図12には一つの成形品169だ

けを示しているが、実際には一つのシリコン基板162に多数の成形品168が同時に形成され、例えば、変形部にピエゾ抵抗体を形成した後、ダイシング等により個々の加速度センサに分離される。

なお、加速度センサの場合、変形部の厚さは約 $20\mu\text{m}$ となるが、この厚さを変えることにより、異なる感度の加速度センサを得ることができる。なお、変形部の厚さを変えるには、単に第1及び／又は第2のエッチング時間を調整すればよい。

このように、上述のように、光照射式電気化学エッチング法を用いると、一つのウエハ内に上述した形式のセンサを多数形成できる。また、複雑な構造の成形品を一回のエッチング処理（第1のエッチング工程と第2のエッチング工程からなる。）で形成できるので、成形品の成形時間およびコストが大幅に減少する。

なお、当然のことであるが、上述したエッチング処理は、加速度センサの製造にのみ利用されるものでなく、複雑な形の成形品を含む各種の装置の製造に利用できるものである。

#### 実施の形態9

図13は、本発明の光照射式電気化学エッチング装置を用いて製作された光導波体180を示す。光導波体180は、一つのn型シリコン基板からなる成形品182を有する。本実施の形態において、成形品182は略四角形の板の形をしており、そこには微小なポア（孔）が一定の間隔（密度）で規則的（例えば、マトリックス状）に形成されている第1の領域である格子構造184と、格子構造部分184を分断する導光路186を有する。なお、本実施形態では、導光路186は成形品182の一つの側壁188から別の側壁190に伸びるL形をしているが、そのような形に限るものでない。

この光導波体180は、格子構造188が格子の寸法（ポアピッチ）に対応した特定の波長の光だけを選択的に遮断する性質を利用したものである。その性質については、例えば、ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス（J. Applied Phys. Vol. 66 25, pp 3254-3256）に紹介されている。そのため、この光導波体180によれば、側壁188側の導光路18



6に光192が入射されると、格子寸法に対応した特定波長の光以外の光194は導光路186を出て格子構造184を透過していく。一方、格子寸法に対応した特定波長の光196は、格子構造184を透過できず、そのために導光路186に案内され、側壁190側から出射される。これにより、特定の波長の光だけを選択的に抽出できる。

次に、図14(a)～(e)を参照し、シリコン基板から成形品182を得る工程を説明する。まず、所定の厚みを有するn型シリコン基板200〔図14(a)参照〕を用意する。次に、例えばCVD法により、n型シリコン基板200の片面に、窒化シリコン膜202を堆積する。続いて、格子構造184のポアに対応した位置の膜部分を、例えば、光リソグラフィ法により除去し、ポアパターンを形成する（除去後に形成された窪みを符号204で示す。）。このときの窪み204の間隔は、分離する波長に応じて異なるが、例えば約 $700\mu\text{m}$ である。その後、図14(b)に示すように、窪み204に露出するシリコン基板部分には、アルカリ水溶液を用いたウェットエッチング、又は反応性イオンエッチングにより、エッチング開始点となるピット206が形成される。

次に、窒化シリコン膜202を有するシリコン基板200を、上述した光照射式電気化学エッチング装置に取り付け、シリコン基板200をエッチングする。このとき、シリコン基板200は、窒化シリコン膜202および窪み202がエッチング電解液であるフッ化水素酸と接するように配置され、シリコン基板200の背面から光が照射される。対向電極には白金電極を利用できる。

エッチングは、2段階に分けて行なわれる。まず、第1のエッチング工程では、例えば、白金電極に対してシリコン基板を+2ボルトの電位設定し、平均照射光量を $40\text{W}/\text{cm}^2$ 、最大光量と最小光量の比が1.69以下の条件に設定する。これにより、図14(c)に示すように、ポアパターンに対応して、シリコン基板200の背面に向って、深さ約 $100\mu\text{m}$ の垂直ポア208が形成される。

次に、第2のエッチング工程に移る前に、シリコン基板200は光照射式電気化学エッチング装置から外され、図14(d)に示すように、窒化シリコン膜が除去され、これに代えて、金属膜、例えばアルミニウム膜210が、物理的又は化学的気相成長法（例えば、スパッタリング）により堆積される。また、導光路

186に対応するアルミニウム膜部分が除去される。

続いて、第2のエッチング工程において、反応性イオンエッチングにより、アルミニウム膜210に覆われていない部分のシリコン基板200がエッチングされる。その結果、図14(e)に示すように、ポア208を含む格子構造184と、格子構造184を分断する導光路186が形成される。

このようにしてポア208を格子状に配列した光導波体180によれば、1.5  $\mu\text{m}$ の波長の光が選択的に取り出される。ただし、ポアの間隔、ポアの大きさを変えることにより、異なる波長の光を選択的に取り出す光導波体を得られる。また、上述した光照射式電気化学エッチング方法を利用することにより、大きな面積の光導波体を得ることが可能となる。

以上、本発明の複数の実施の形態を説明したが、本発明はそれらの実施の形態に限定されるものでない。すなわち、以上の記述をもとに当業者であれば考えつくような改良・変形は、以下に記載する請求の範囲に記載する本発明の範囲に含まれる。

## 請 求 の 範 囲

1. n型シリコン基板の一方の面をフッ化水素酸溶液に接触させた状態で保持するエッチングバスと、

5 上記フッ化水素酸溶液の中に配置された電極と、

陽極と陰極とを有し、上記シリコン基板に陽極が接続されると共に上記電極に陰極が接続される電源と、

上記シリコン基板の他方の面を照明するための光源を有する照明部とを備え、

10 上記照明部は、上記シリコン基板の他方の面を $10\text{ mW/cm}^2$ 以上の照度で照明することを特徴とする光照射式電気化学エッチング装置。

2. 上記シリコン基板の他方の面における最大照度と最小照度との比が1.69以下であることを特徴とする請求項1に記載の光照射式電気化学エッチング装置。

15

3. 上記フッ化水素酸溶液の中に設けた参照電極と、上記参照電極とシリコン基板との間に電氣的に接続された高インピーダンスの電圧検出器とを有することを特徴とする請求項1又は2のいずれかーに記載の光照射式電気化学エッチング装置。

20

4. 上記照明部は、上記シリコン基板の他方の面における照度を調整する照度調整部を有することを特徴とする請求項1から3のいずれかーに記載の光照射式電気化学エッチング装置。

25

5. 上記照度調整部は上記光源の発光量を調整することを特徴とする請求項4に記載の光照射式電気化学エッチング装置。

6. 上記照度調整部は、上記光源とシリコン基板との間に配置され、上記光源で発光された光を変調する変調器を有することを特徴とする請求項4に記載の光

照射式電気化学エッチング装置。

5 7. 上記電源からシリコン基板に印加される電流を検出する電流検出器と、  
上記電流検出器で検出された電流をもとに上記光源の発光量を調整する回路を  
有することを特徴とする請求項4から6のいずれかーに記載の光照射式電気化学  
エッチング装置。

10 8. 上記フッ化水素酸の状態を一定に保つ装置を有することを特徴とする請求  
項1から7のいずれかーに記載の光照射式電気化学エッチング装置。

15 9. 上記シリコン基板の他方の面上に配置され、上記照明部から上記シリコン  
基板の他方の面に向けて進む光を透過する複数の開口部を規則的に配列した金属  
板を有することを特徴とする請求項1から8のいずれかーにーに記載の光照射式電  
気化学エッチング装置。

20 10. 上記金属板は、導電性金属で形成されており、上記シリコン基板の他方  
の面に接して配置されていることを特徴とする請求項9に記載の光照射式電気化  
学エッチング装置。

25 11. 上記金属板は、上記シリコン基板の他方の面に一体的に形成されている  
ことを特徴とする請求項10に記載の光照射式電気化学エッチング装置。

12. 上記金属板は、上記シリコン基板とは独立して形成されていることを特  
徴とする請求項10に記載の光照射式電気化学エッチング装置。

13. 上記金属板において、隣接する開口部の間に残る金属板部分の幅は、上  
記シリコン基板の厚さ以下であることを特徴とする請求項9から12のいずれか  
ーに記載の光照射式電気化学エッチング装置。

1 4. n型シリコン基板の一方の面を電解液に接触させると共に反対面に光を照射し、この光照射によってエッチング電流を制御しながら、上記シリコン基板の一方の面に孔又はトレンチを形成する光照射式電気化学エッチング方法において、上記シリコン基板の他方の面を  $10\text{ mW/cm}^2$  以上の照度で照明することを特徴とする光照射式電気化学エッチング方法。

1 5. 複数の開口部を規則的に配列した金属板を上記n型シリコン基板の他方の面上に配置し、上記複数の開口部を介して上記n型シリコン基板の他方の面に光を照射することを特徴とする請求項 1 4 に記載の光照射式電気化学エッチング方法。

1 6. 上記シリコン基板の他方の面における最大照度と最小照度との比を 1.69 以下とすることを特徴とする請求項 1 4 に記載の光照射式電気化学エッチング方法。

1 7. n型シリコン基板の一方の面を電解液に接触させると共に反対面に光を照射し、この光照射によってエッチング電流を制御しながら、上記シリコン基板の一方の面に孔又はトレンチを形成する光照射式電気化学エッチング方法において、

上記シリコン基板の他方の面を  $10\text{ mW/cm}^2$  以上の第 1 の照度で照明しながら、上記一方の面から他方の面に向けて、複数の孔又はトレンチを形成する第 1 の工程と、

第 1 の工程の後、上記シリコン基板の他方の面を上記第 1 の照度よりも高い照度で照明しながら、第 1 の工程で形成された複数の孔又はトレンチを横方向に拡幅して上記複数の孔又はトレンチを相互に連結する第 2 の工程とを有することを特徴とする光照射式電気化学エッチング方法。

1 8. 請求項 1 4 から 1 6 のいずれかに記載の光照射式電気化学エッチング方法で製造された装置。



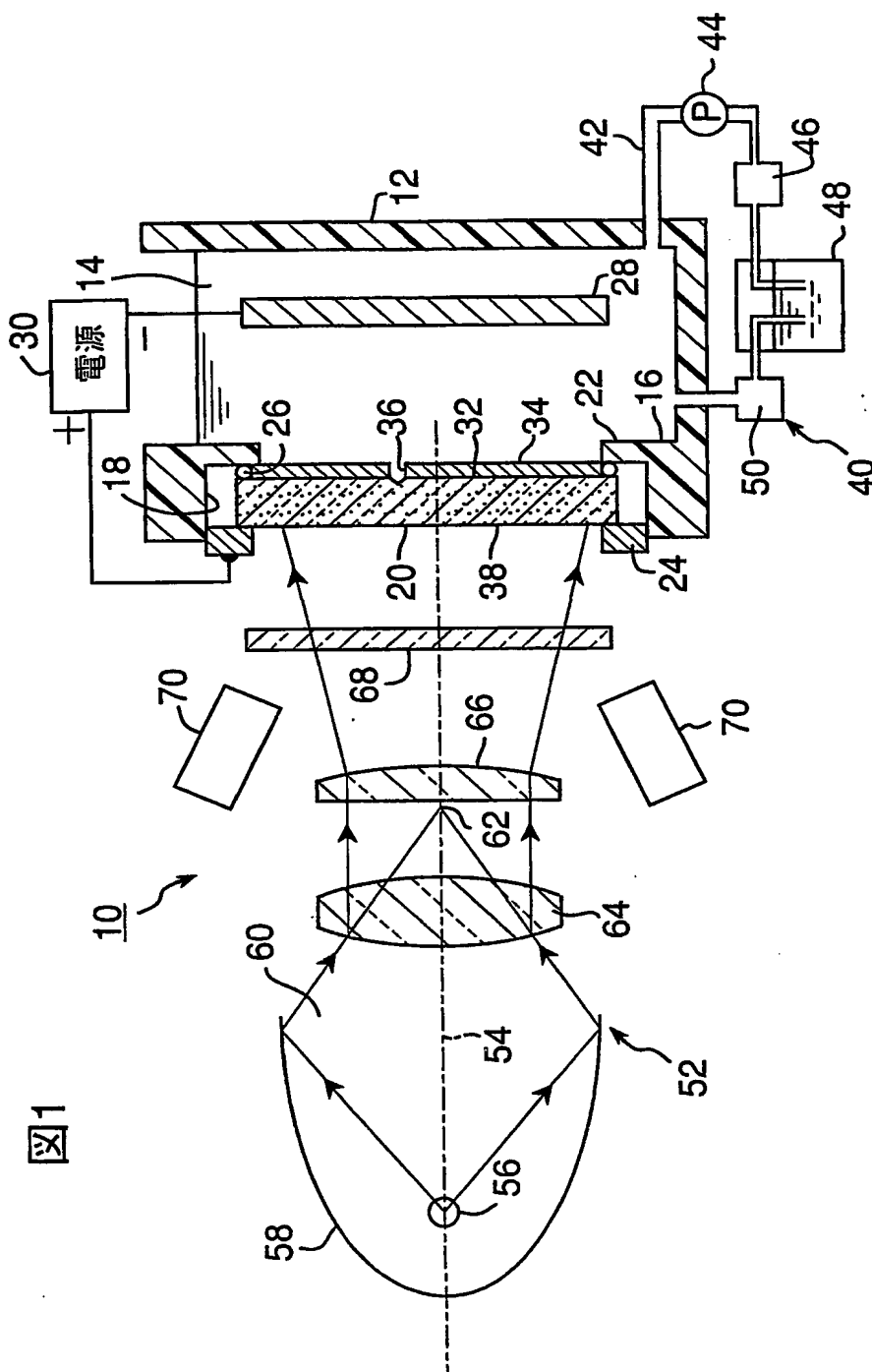


図1





図2B

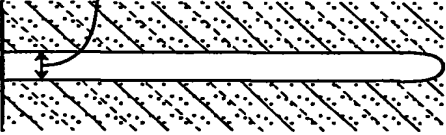
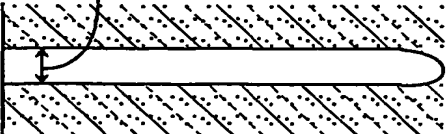
	最小照度部	最大照度部
拡大断面図		
径 (径比)	$D_1=3.0\text{ }\mu\text{m}$	$D_2=3.9\text{ }\mu\text{m}$ (1.3D <sub>1</sub> )
照度 (照度比)	$I_{\text{MIN}}=65\text{mW/cm}^2$	$I_{\text{MAX}}=110\text{mW/cm}^2$ ( $I_{\text{MAX}}/I_{\text{MIN}}=1.69$ )

図2A

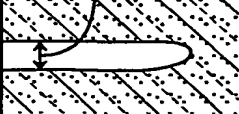
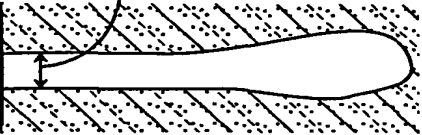
	最小照度部	最大照度部
拡大断面図		
径 (径比)	$D_1=3.0\text{ }\mu\text{m}$	$D_2=4.2\text{ }\mu\text{m}$ (1.4D <sub>1</sub> )
照度 (照度比)	$I_{\text{MIN}}=65\text{mW/cm}^2$	$I_{\text{MAX}}=128\text{mW/cm}^2$ ( $I_{\text{MAX}}/I_{\text{MIN}}=1.96$ )



図2D

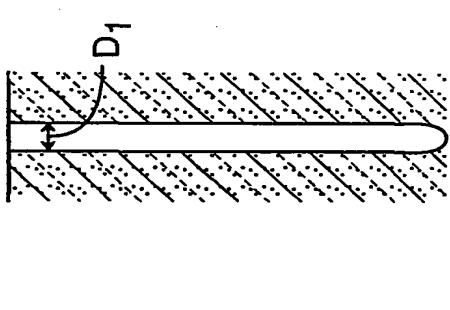
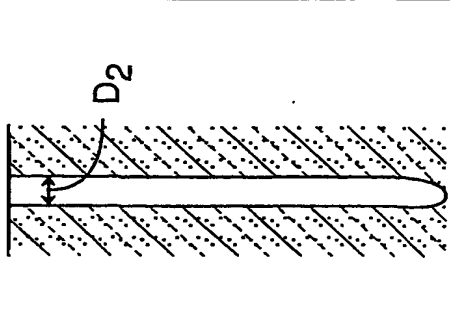
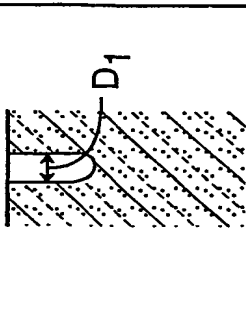
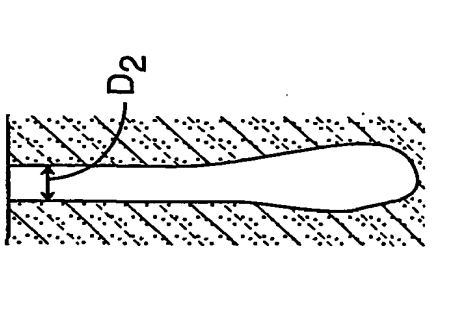
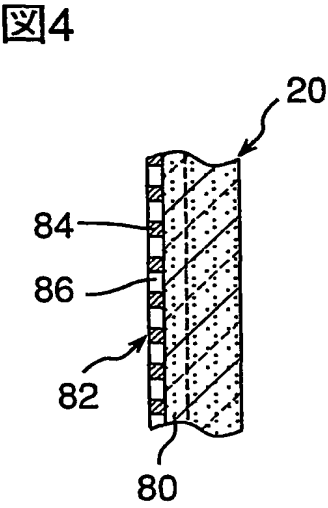
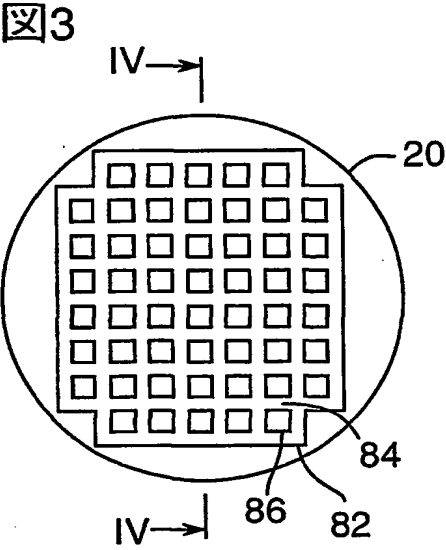
	最小照度部	最大照度部
拡大断面図		
径 (径比)	$D_1 = 3.0 \mu\text{m}$	$D_2 = 3.3 \mu\text{m}$ (1.1 $D_1$ )
照度 (照度比)	$I_{\text{MIN}} = 60 \text{mW/cm}^2$	$I_{\text{MAX}} = 73 \text{mW/cm}^2$ ( $I_{\text{MAX}}/I_{\text{MIN}} = 1.21$ )

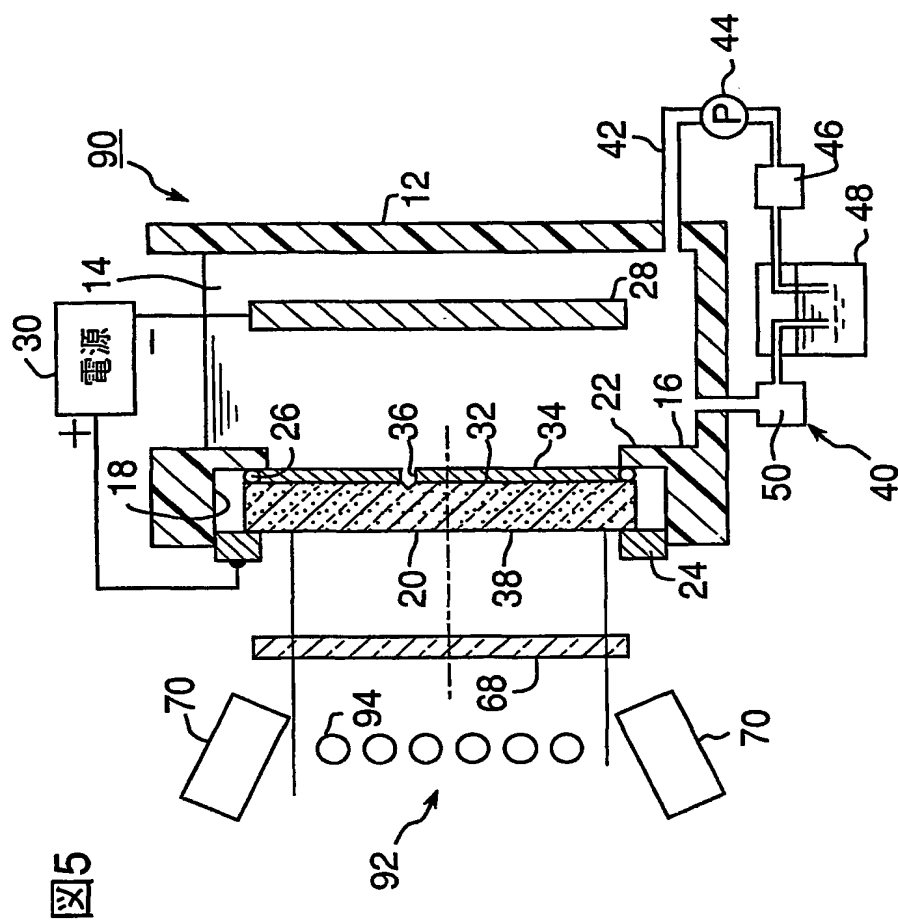
図2C

	最小照度部	最大照度部
拡大断面図		
径 (径比)	$D_1 = 3.2 \mu\text{m}$	$D_2 = 4.8 \mu\text{m}$ (1.5 $D_1$ )
照度 (照度比)	$I_{\text{MIN}} = 65 \text{mW/cm}^2$	$I_{\text{MAX}} = 146 \text{mW/cm}^2$ ( $I_{\text{MAX}}/I_{\text{MIN}} = 2.25$ )





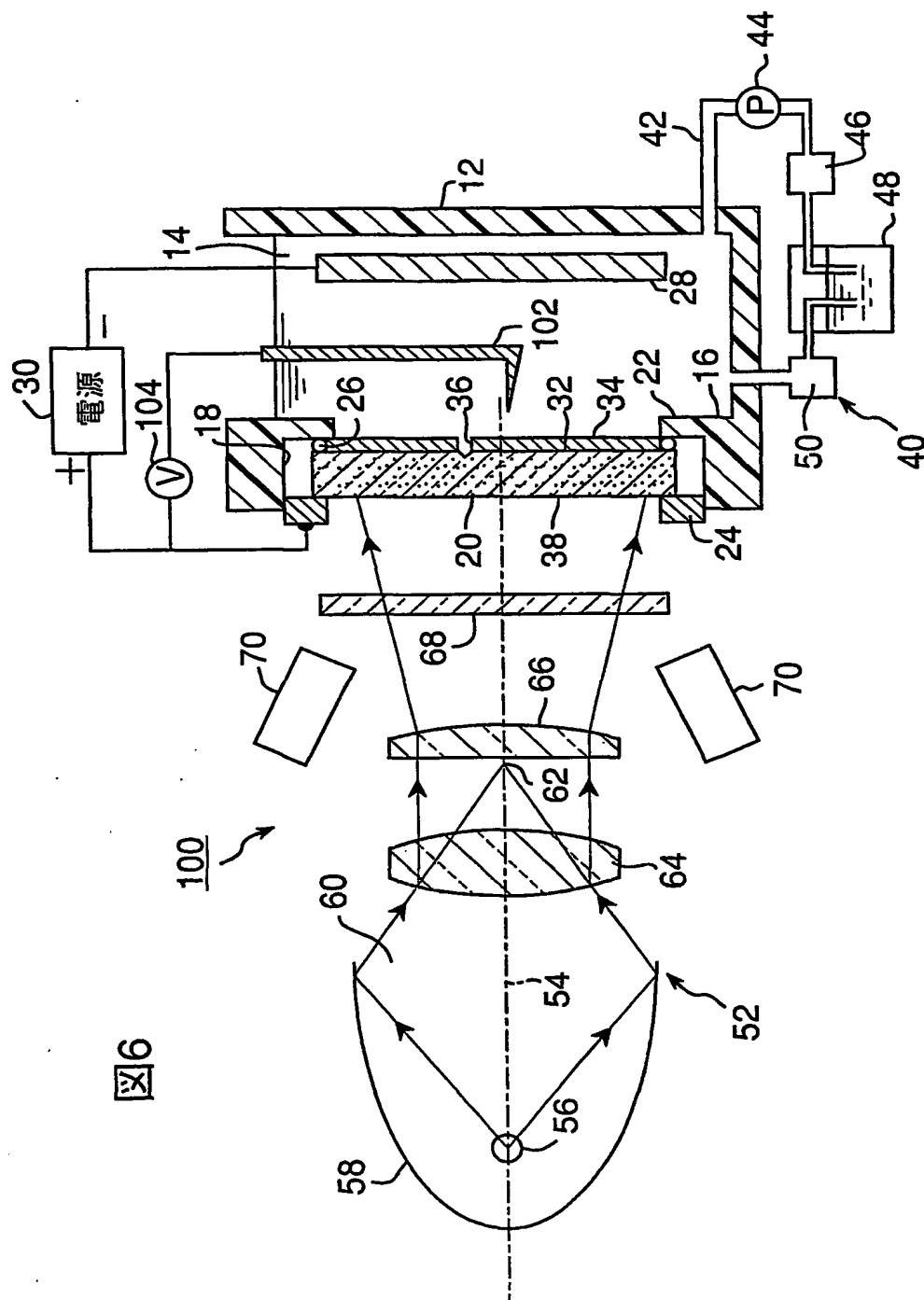




### 差替え用紙 (規則26)

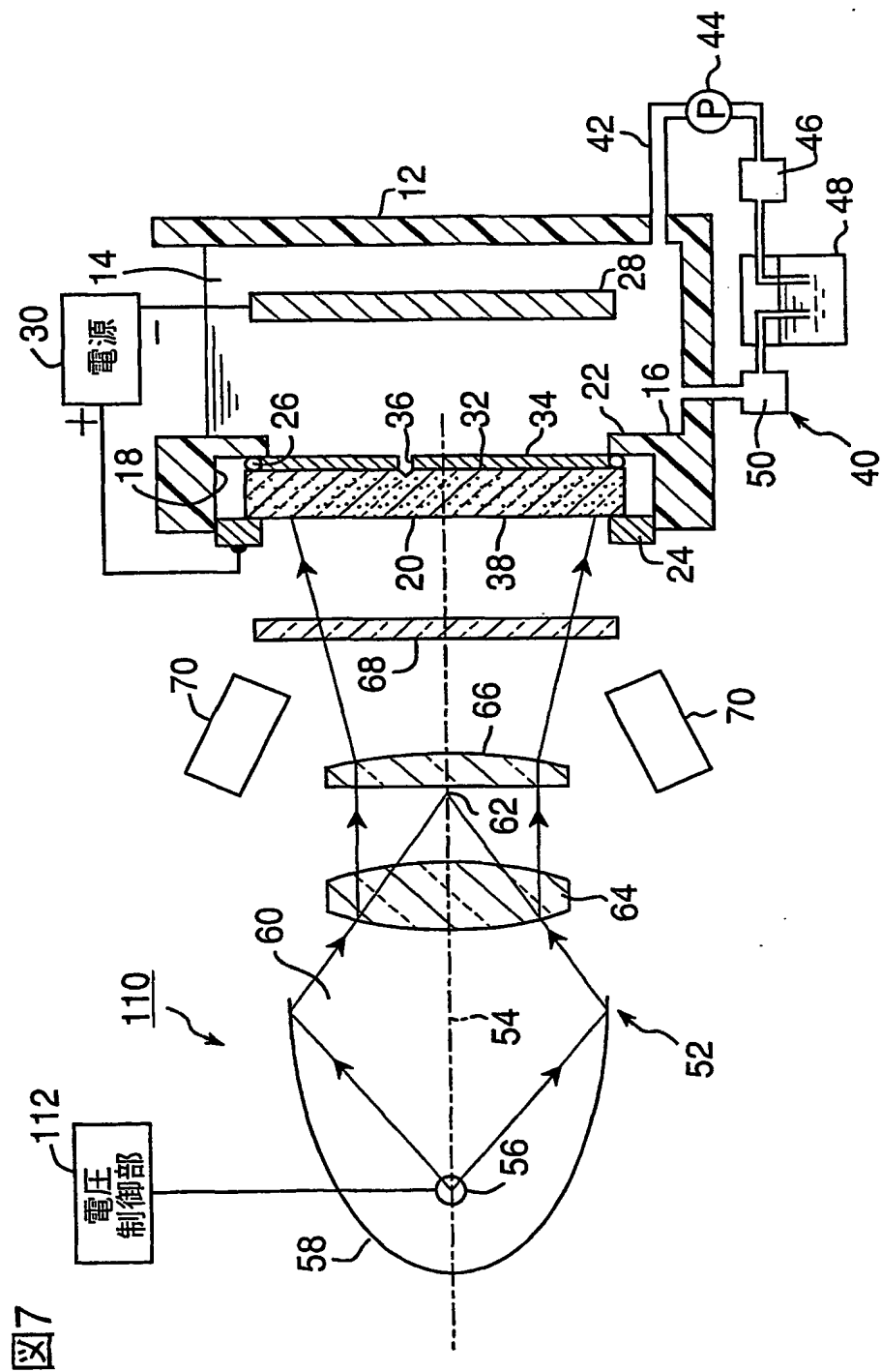






6  
X





### 差替え用紙 (規則26)



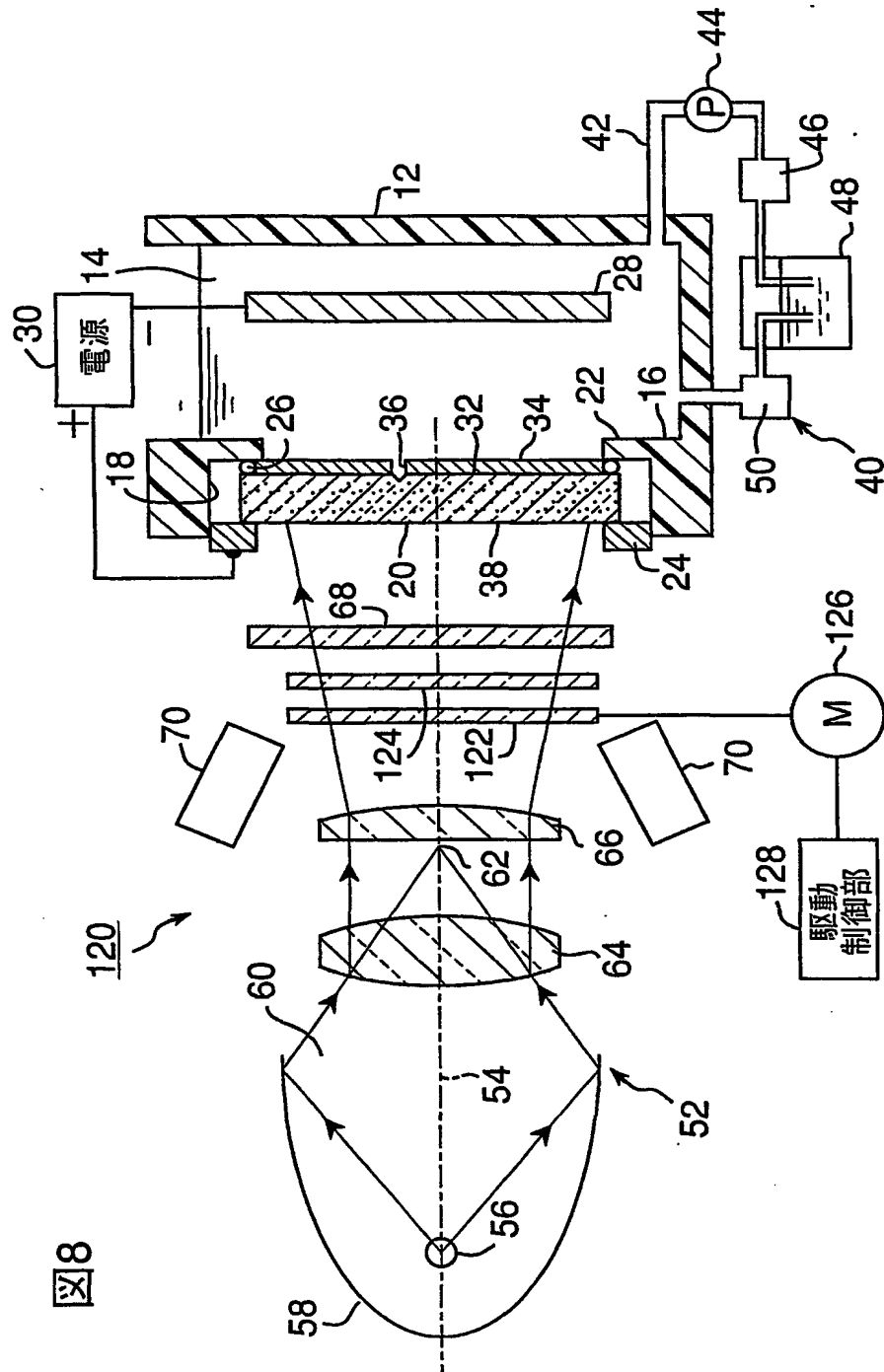


図8



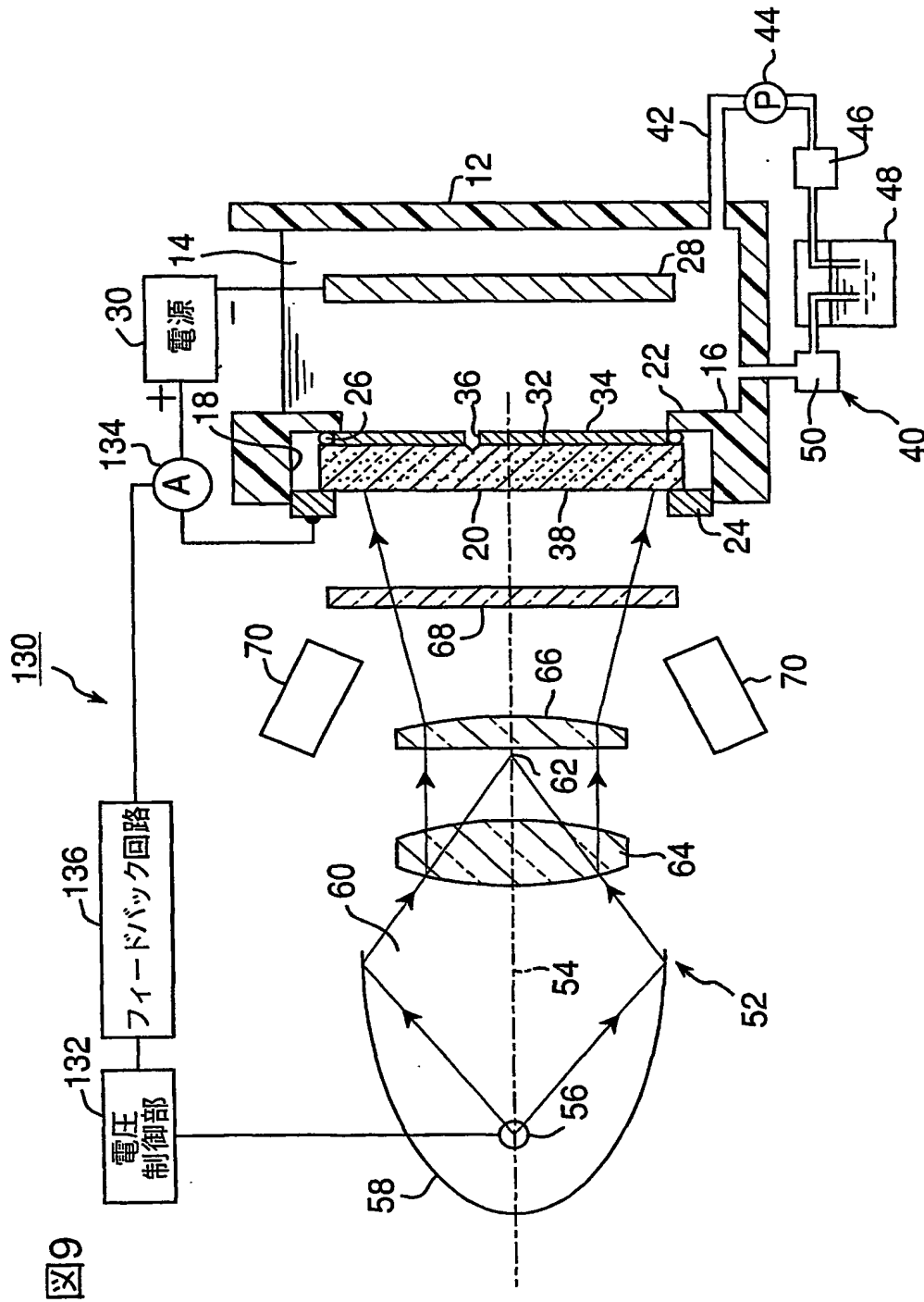
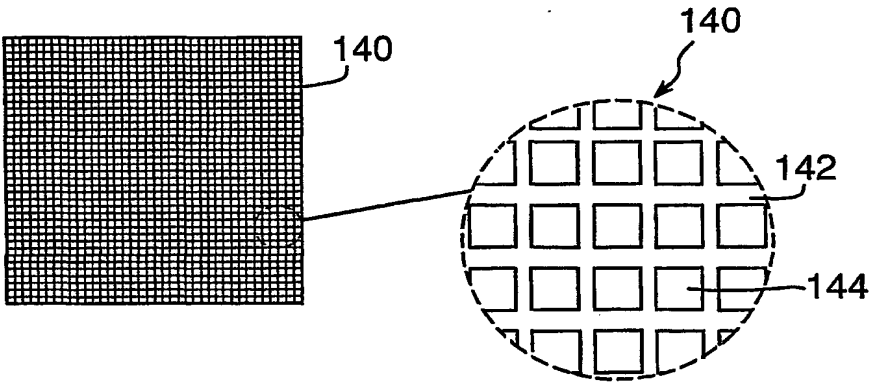






図10





11/12

図 1 1

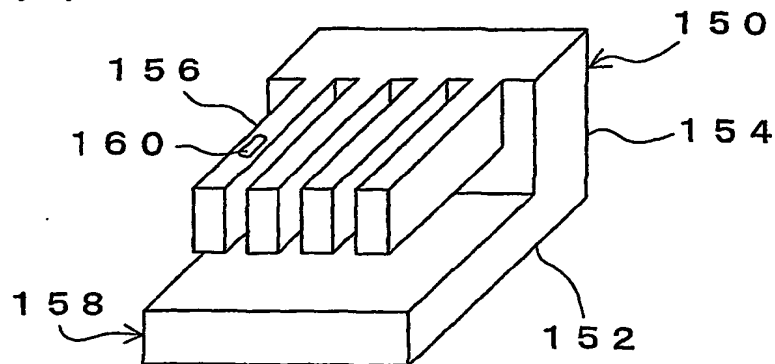
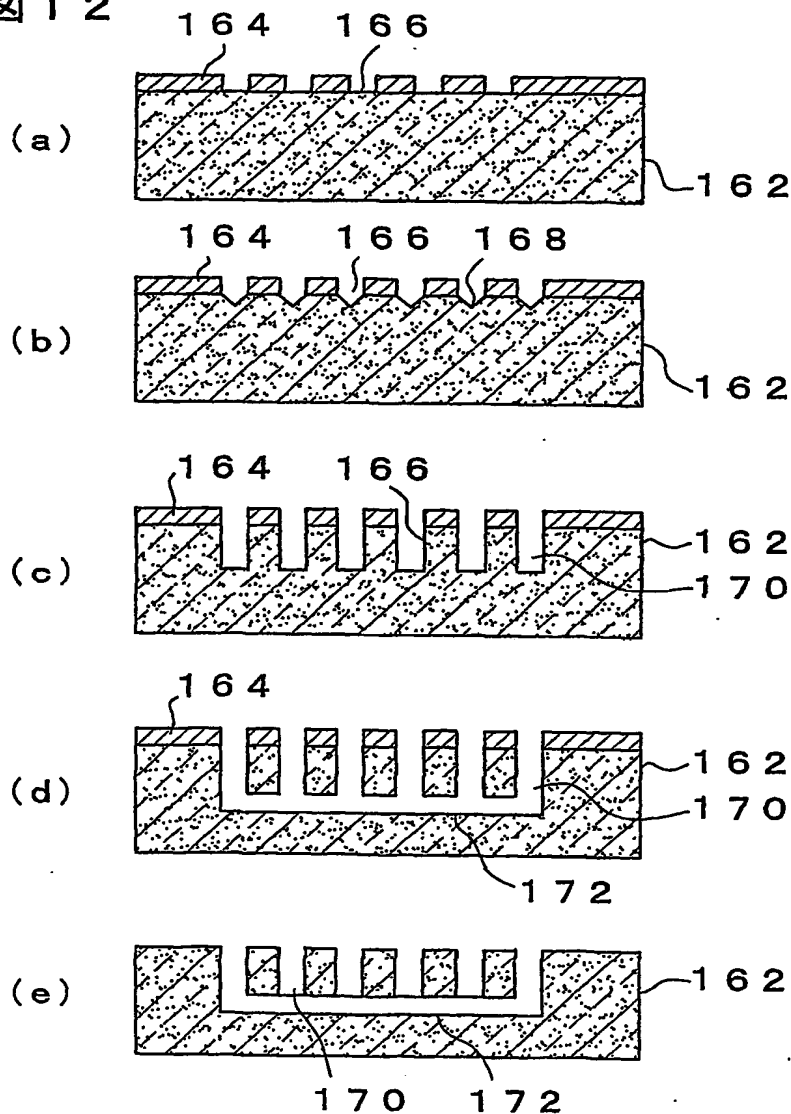


図 1 2





12/12

図 13

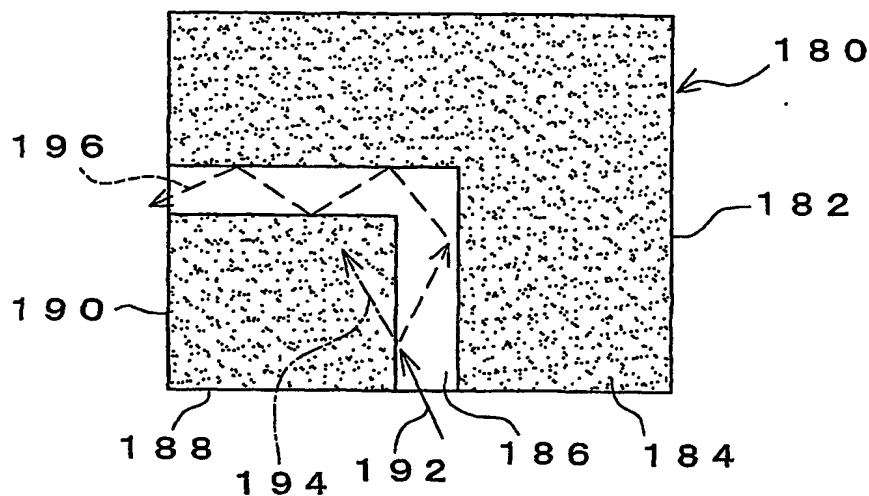
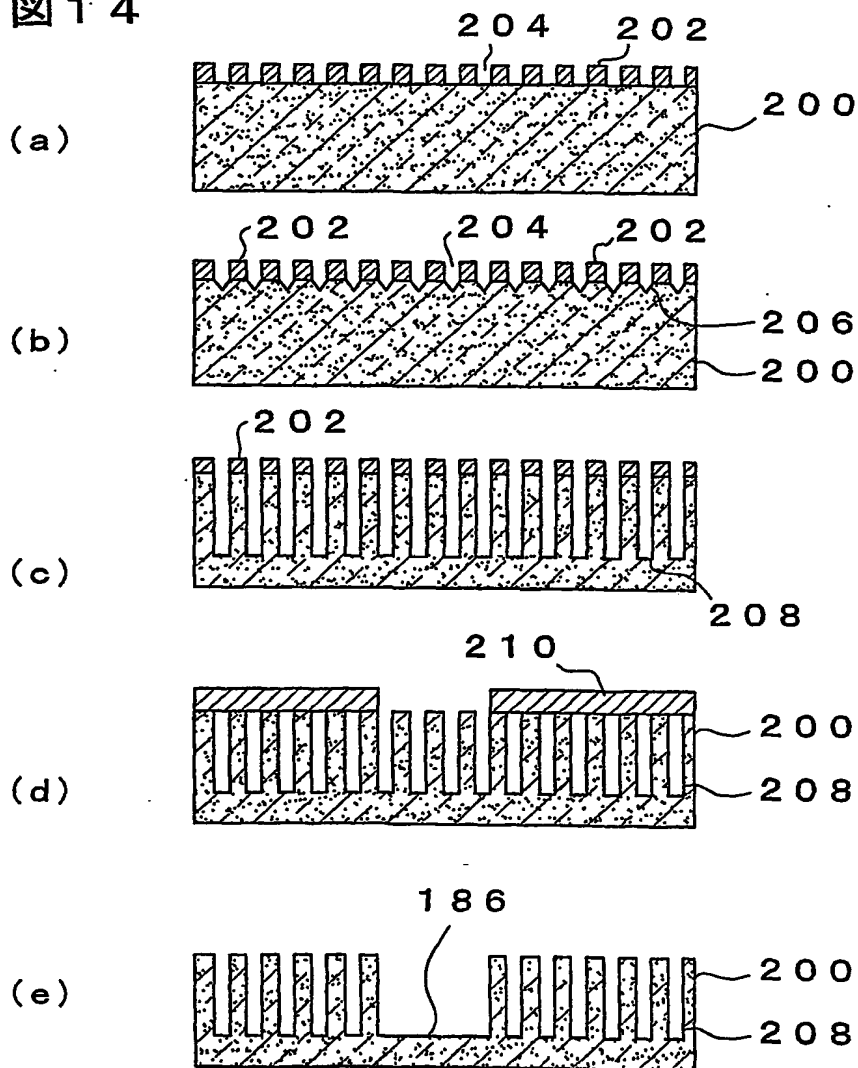


図 14





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP00/03307

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L 21/3063,  
Int.Cl<sup>7</sup> C25F 3/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L 21/306, 21/3063,  
Int.Cl<sup>7</sup> C25F 3/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-256227 A (Fujikura Ltd.), 25 September, 1998 (25.09.98) (Family: none)	1, 4, 5, 14, 18
Y	US 5360759 A (Siemens AG.), 23 March, 1994 (23.03.94) & JP, 6-216113, A & EP, 588296, A1	1, 4, 5, 14, 18
Y	JP 7-230983 A (Sony Corporation), 29 August, 1995 (29.08.95), Par. No. [0002] (Family: none)	1, 4, 5, 14, 18
A	US 4482443 A (American Telephone & Telegraph Co.), 13 November, 1984 (13.11.84) & JP, 60-160129, A	1-18
A	US 4874484 A (Siemens AG.), 17 October, 1989 (17.10.89) & JP, 63-310122, A & EP, 296348, A	1-18



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
15 August, 2000 (15.08.00)

Date of mailing of the international search report  
22 August, 2000 (22.08.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.





## 国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
[PCT18条、PCT規則43、44]

出願人又は代理人 の書類記号 661755	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/JPO0/03307	国際出願日 (日.月.年) 24.05.00	優先日 (日.月.年)
出願人(氏名又は名称) 三菱電機株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

## 1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、  
第 1 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。



## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L 21/3063,  
Int. Cl<sup>7</sup> C25F 3/12

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> H01L 21/306, 21/3063;  
Int. Cl<sup>7</sup> C25F 3/12

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2000年  
日本国実用新案登録公報 1996-2000年  
日本国登録実用新案公報 1994-2000年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 10-256227, A (株式会社フジクラ) 25. 9月. 1998 (25. 09. 98), (ファミリーなし)	1, 4, 5, 14, 18
Y	US, 5360759, A (Siemens AG.) 23. 3月. 1994 (23. 03. 94) & JP, 6-21611 3, A & EP, 588296, A1	1, 4, 5, 14, 18
Y	JP, 7-230983, A (ソニー株式会社) 29. 8月. 1995 (29. 08. 95), 【000 2】, (ファミリーなし)	1, 4, 5, 14, 18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15. 08. 00

国際調査報告の発送日

22.08.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

酒井 英夫



4 R

9631

電話番号 03-3581-1101 内線 3469



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US, 4482443, A (American Telephone & Telegraph Co.) 13. 11月. 1984 (13. 11. 84) & JP, 60-160129, A	1-18
A	US, 4874484, A (Siemens AG.) 17. 10月. 1989 (17. 10. 89) & JP, 63-310122, A & EP, 296348, A	1-18





## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10256227 A**(43) Date of publication of application: **25 . 09 . 98**

(51) Int. Cl

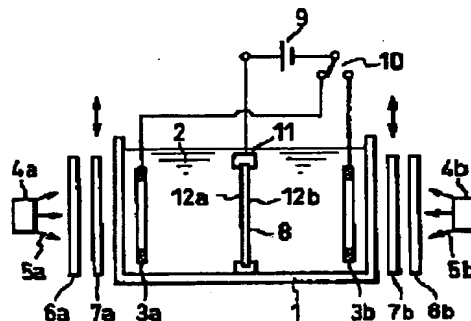
**H01L 21/3063  
C25F 3/12**(21) Application number: **09056361**(22) Date of filing: **11 . 03 . 97**(71) Applicant: **FUJIKURA LTD**(72) Inventor: **INABA MASATOSHI  
SATOU AKINOBU**(54) **FORMATION OF THROUGH-HOLE SILICON  
SUBSTRATE**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for forming a through-hole, capable of forming a through-hole having a large aspect ratio by utilizing photo excited electrolytic polishing process to suppress the effects of useless etching.

**SOLUTION:** Cathode electrodes 3a, 3b are disposed in the right and left parts of an electrolyzer 1 containing HF solution 2, and a silicon substrate 8 to be processed is disposed at the center thereof. The silicon substrate 8 has V-shaped cross-section grooves, formed beforehand at the opposite positions of two main surfaces 12a, 12b thereof. Two light sources 4a, 4b are disposed outside the electrolyzer 1. The process wherein the groove in the second main surface 12b is etched vertically, while irradiating with exciting light 5a from the first main surface 12a side of the silicon substrate 8, and the groove in the first main surface 12a is etched vertically, while irradiating with exciting light 5b from the second main surface 12b side of the silicon substrate 8, is repeated to form a through-hole for communicating the first and the second main surfaces.









## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07230983 A**(43) Date of publication of application: **29 . 08 . 95**

(51) Int. Cl. **H01L 21/3063**  
**H01L 31/04**  
**H01L 33/00**

(21) Application number: **06041957**(71) Applicant: **SONY CORP**(22) Date of filing: **15 . 02 . 94**(72) Inventor: **NARUI HIRONOBU**

(54) **METHOD OF FORMING POROUS SILICON AND  
 OPTICAL SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE  
 SAME**

## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To improve an optical semiconductor device in light emission performance and photoelectric conversion properties by a method wherein porous silicon enhanced in photoluminescent intensity and lessened in deterioration of photoluminescent intensity with time is used for manufacturing the optical semiconductor device.

**CONSTITUTION:** A silicon substrate 21 and an electrode 31 are disposed in an electrolytic solution 12 confronting each other, currents different in polarity are alternately applied to the silicon substrate 21 and the electrode 31 to oxidize the surface of the silicon substrate 21 for the formation of a porous silicon layer 22. An optical semiconductor device formed of a light emitting diode or a solar cell is possessed of a Schottky junction of a porous silicon layer with a metal electrode or a P-N junction formed in the porous silicon layer.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

